



SKRIPSI – TK 141581

**SINTESIS DAN UJI KARAKTERISTIK ADSORPSI
CELLULOSE ACETATE/POLY (L-LACTIC ACID)
BEADS UNTUK PEMISAHAN ZAT WARNA**

Oleh:

**Ardha Fanani Aslam
NRP. 02211645000020**

**Faris Bahauddin
NRP. 02211340000139**

**Dosen Pembimbing
Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S., Ph.D
NIP. 1984 10 10 2009 12 2006**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT
TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

**SYNTHESIS AND ADSORPTION CHARACTERIZATION
OF CELLULOSE ACETATE/POLY (L-LACTIC ACID
BEADS FOR DYE SEPARATION**

Proposed by:

Ardha Fanani Aslam

NRP. 02211645000020

Faris Bahauddin

NRP. 02211340000139

Advisor

Hikmatun Ni'mah, S.T., M.S., Ph.D

NIP. 1984 10 10 2009 12 2006

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Sistesis dan Uji Karakteristik Adsorpsi *Cellulose Acetate/Poly (L-Lactic Acid) Beads* Untuk Pemisahan Zat Warna

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Ardha Fanani Aslam

02211645000020

Faris Bahauddin

02211340000139

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D.
(Pembimbing)
2. Dr. Eva Oktavia Ningrum, S.T., M.S.
(Penguji I)
3. Prida Novarita T., S.T., M.T.
(Penguji II)
4. Rizky Tetrisyanda, S.T., M.T.
(Penguji III)


.....

.....

.....

.....



Sarabaya, Juli 2018

Sintesis dan Uji karakteristik Adsorpsi *Cellulose Acetate/Poly(L-Lactic Acid) Beads* untuk Pemisahan Zat Warna

Nama Mahasiswa/NRP : Ardha Fanani Aslam / 02211645000020
: Faris Bahauddin / 02211340000139

Departemen : Teknik Kimia FTI-ITS

Dosen Pembimbing : Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Pembuangan limbah pewarna sintesis yang tidak diolah dari berbagai industri menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Teknik pemisahan zat warna yang paling banyak digunakan adalah metode adsorpsi. Selulosa adalah zat yang menunjukkan potensi yang baik sebagai adsorben zat warna. Modifikasi adsorben berbasis selulosa dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya (Q). Salah satu teknik modifikasi selulosa adalah dengan menggunakannya sebagai biokomposit. Biokomposit yang terdiri dari *cellulose acetate* (CA) dan *poly(l-lactic acid)* (PLLA) memiliki potensi yang baik dalam pemisahan zat warna. Biokomposit *beads* dibuat melalui metode *solvent blending* dengan mengencerkan CA dalam campuran aseton / DMSO dan PLLA dalam kloroform yang kemudian dicampur dan dibentuk menjadi *beads* dengan teknik *dropping* ke dalam aquadest. Rasio berat polimer dalam larutan adalah 10% dan 15%. Komposisi CA / PLLA yang berhasil dibentuk menjadi *beads* adalah 100/0, 90/10, 80/20, dan 70/30 dalam rasio berat. Adsorpsi ekuilibrium secara *batch* dilakukan untuk mempelajari kinetika adsorpsi, efek komposisi dan rasio pelarut biokomposit *beads*, efek pH, suhu, dan konsentrasi larutan *zat warna*, serta dosis adsorben yang digunakan pada proses adsorpsi. Konsentrasi akhir larutan setelah adsorpsi diukur dengan metode spektrofotometri. Efek penambahan *poly(l-*

lactic acid)-graft-maleic anhydride (PLLA-g-MA) dalam biokomposit juga dipelajari. Morfologi dan gugus fungsi dari *beads* dianalisis dengan *scanning electron microscopy* (SEM) dan *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FTIR). Waktu proses adsorpsi adalah 32 jam dimana waktu *equilibrium* telah tercapai. Data kinetika yang didapat sesuai dengan model *pseudo-first-order* Lagergren. Hasil adsorpsi menunjukkan bahwa secara umum semakin besar rasio PLLA pada *beads* yang digunakan, daya serap dan %*removal* (%R) *beads* semakin besar. Penambahan PLLA-g-MA umumnya meningkatkan kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi dan % *removal* terbaik diperoleh pada pH 7 dan suhu 30°C. Peningkatan konsentrasi awal larutan zat warna (Co) akan meningkatkan kapasitas adsorpsi dan memperkecil % *removal*. Peningkatan dosis *bead* akan memperkecil kapasitas adsorpsi dan meningkatkan % *removal*. Kapasitas adsorpsi tertinggi diperoleh pada CA/(PLLA/PLA-g-MA) (90/10) 15% dengan Q sebesar 7,29 mg/g pada Co 80 mg/L dan dosis *bead* 2 g/L pada pH 7 dan suhu 30°C. Sedangkan % *removal* terbesar didapat pada CA/(PLLA/PLA-g-MA) (90/10) 15% yang mempunyai % *removal* sebesar 76,52% konsentrasi awal zat warna 20 mg/L dan dosis *bead* 20g/L *beads* pada pH 7 dan suhu 30°C. Dari hasil FTIR terlihat bahwa sintesis CA/PLLA dan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) berhasil dilakukan. Hasil SEM memperlihatkan pori-pori *beads* yang sebelumnya terlihat jelas menjadi tertutup.

Kata Kunci : adsorpsi, zat warna, biokomposit, *beads*, *cellulose acetate*, *poly(l-lactic acid)*

Synthesis and Adsorption Characteristics Assesment of Cellulose Acetate/Poly (L-Lactic Acid) Beads for Dye Separation

Student Name / NRP : Ardha Fanani Aslam / 02211645000020
: Faris Bahauddin / 02211340000139

Departement : Chemical Engineering FTI-ITS

Advisor : Hikmatun Ni'mah, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The disposal of untreated synthetic dye wastes from various industries causes serious environmental problems. The most widely used dye separation technique is adsorption. Cellulose is a substance that shows great potential as dye adsorbents. Modification of cellulose-based adsorbents can increase their adsorption capacity. One of the cellulose modification techniques is apply it as a biocomposite. Biocomposites consist of cellulose acetate (CA) and poly (l-lactic acid) (PLLA) have great potential in dye separation. The biocomposites were prepared through solvent blending method by diluting CA in acetone/DMSO mixture and PLLA in chloroform which then blended and formed into beads with dropping technique into aquadest. The polymers weight ratio in the solution were 10 % and 15%. The compositions of CA/PLLA that can be formed into beads were 100/0, 90/10, 80/20, and 70/30 in weight ratio. Batch equilibrium adsorption was carried out to study adsorption kinetics, composition effects and solvent biocomposite beads ratio, pH effect, temperature, and dye solution concentration, and adsorbent dose used in the adsorption process. The final solution concentration after adsorption measured with spectrophotometry. The effect of addition of poly (l-lactic acid) - graft - maleic anhydrate (PLLA-g-MA) in biocomposites was also studied. The morphology and functional groups of beads

were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The adsorption time was 32 hours which already surpass the equilibrium time. The kinetics data obtained correspond well with Lagergren's pseudo-first-order model. The adsorption results show that generally increasing the PLLA ratio in beads lead to greater absorption capacity (Q) and dye removal percentage (%R). The addition of PLLA-g-MA generally increases the adsorption capacity. The highest adsorption capacity and % removal was obtained at pH 7 and temperature 30°C. An increase in the initial concentration of the dye solution will increase the adsorption capacity and reduce the % removal. Increased dosage of beads will increase % removal beads and decrease adsorption capacity. The highest adsorption capacity was obtained by CA/(PLLA/PLA-g-MA) (90/10) 15% which had Q of 7.29 mg/g at initial dye concentration (Co) of 80 mg/L and a adsorbent dose of 2 g/L with initial pH of dye solution at 7 and a temperature of 30 ° C. While the largest % removal was obtained by CA/(PLLA/PLA-g-MA) (90/10) 15% which had % removal of 76.52% with initial concentration of 20 mg/L dye and bead dose of 20g/L with initial pH of dye solution 7 and temperature 30°C. The FTIR results show that synthesis of CA/PLLA and CA/(PLLA/PLA-g-MA) are successful. The SEM results show beads pore before adsorption that clearly visible being covered after the adsorption.

Keywords : adsorption, dye, biocomposite, beads, cellulose acetate, poly(l-lactic acid)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kekuatan sehingga kami dapat menyelesaikan proposal skripsi yang **“Sistesis dan Uji Karakteristik Adsorpsi *Cellulose Acetate/Poly (L-Lactic Acid) Beads* untuk Pemisahan Zat Warna”**. Proposal skripsi ini merupakan syarat kelulusan bagi mahasiswa tahap sarjana di departemen Teknik Kimia FTI-ITS Surabaya.

Selama penyusunan laporan ini, kami banyak sekali mendapat bimbingan, dorongan, serta bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua dan saudara-saudara kami atas doa, bimbingan, perhatian, dan kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
2. Ibu Hikmatun Ni'mah, ST., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing dalam pengerjaan proposal skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Sumarno, M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Teknologi Material atas bimbingan dan saran yang telah diberikan.
4. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
5. Bapak dan Ibu Dosen pengajar serta seluruh karyawan Departemen Teknik Kimia.
6. Rekan-rekan Laboratorium Teknologi Material atas segala cerita, diskusi dan sharing selama pengerjaan proposal skripsi ini.
7. Teman-teman LJ Gasal 2016 dan K53 Teknik Kimia FTI-ITS yang selalu memberi semangat dan dukungan.

Kami menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, sehingga dibutuhkan saran yang konstruktif demi penyempurnaannya. Semoga ini menjadi awal yang baik bagi kami untuk membangun Indonesia yang baik serta bermartabat ke depannya.

Surabaya, 11 Juli 2018

Penyusun

Halaman ini sengaja diosongkan

DAFTAR ISI

COVER	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar belakang.....	1
I.2. Perumusan dan Batasan masalah.....	5
I.2.1 Perumusan Masalah.....	5
I.2.1 Batasan Masalah.....	6
I.3. Tujuan Penelitian.....	7
I.4. Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
II.1 Adsorpsi.....	9
II.2 <i>Cellulose Acetate</i> (CA).....	8
II.3 <i>Cellulose Beads</i>	17
II.4 Biokomposit.....	19
II.5 <i>Blending</i>	19
II.6 <i>Poly Lactic Acid</i> (PLA).....	21
II.7 Proses Grafting Kopolimer.....	24
II.8 Analisa yang Dilakukan.....	25

II.9 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya.....	29
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	37
III.1 Bahan yang Digunakan.....	38
III.2 Skema Penelitian.....	39
III.2.1 Skema Persiapan <i>Beads</i>	39
III.2.1.1 Skema Pembuatan CA/PLLA <i>Beads</i> ...	39
III.2.2.2 Skema Pembuatan CA/PLLA-g-MA <i>Beads</i>	40
III.2.2 Skema Proses Uji Adsorpsi.....	42
III.3 Prosedur Penelitian.....	42
III.3.1 Persiapan <i>Beads</i>	42
III.3.1.1 Pembuatan CA/PLLA <i>Beads</i>	42
III.3.1.2 Pembuatan CA/PLLA-g-MA <i>Beads</i>	43
III.3.2. Uji Adsorpsi.....	45
III.4 Variabel Penelitian.....	45
III.5 Analisa Hasil Penelitian.....	46
III.6 Blok Diagram Penelitian.....	48
BAB IV PEMBAHASAN.....	49
IV.1 Pengaruh Waktu dan Studi Kinetika Adsorpsi....	50
IV.2 Pengaruh Komposisi <i>Beads</i> Terhadap Adsorpsi MB	55
IV.3 Pengaruh pH awal larutan MB terhadap Proses Adsorpsi MB oleh <i>Beads</i>	58

IV.4 Pengaruh Suhu larutan MB Terhadap Proses Adsorpsi MB oleh <i>Beads</i>	61
IV.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan MB Terhadap Proses Adsorpsi MB oleh <i>Beads</i>	64
IV.6 Pengaruh Dosis <i>Beads</i> Terhadap Adsorpsi MB oleh <i>Beads</i>	66
IV.7 <i>Fourier-Transform Infrared Spectrophotometry</i> (FT-IR)	68
IV.8 Analisa Morfologi <i>Beads</i>	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
V.1 Kesimpulan.....	77
V.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	xiii
APPENDIKS A	A1
APPENDIKS B	B1
APPENDIKS C	C1

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Rumus Bangun <i>Cellulose Acetate</i>	16
Gambar II.2	<i>Cellulose Beads</i>	17
Gambar II.3	Rumus Bangun PLLA (<i>Poly L-Lactic Acid</i>)	22
Gambar II.4	Reaksi grafting MA ke rantai PLLA.....	25
Gambar II.5	Rumus Bangun <i>Methylene Blue</i>	26
Gambar II.6	Skema Peralatan Analisa SEM.....	27
Gambar III.1	Skema Proses Pembentukan CA/PLLA Beads	39
Gambar III.2	Skema Alat Pembuatan PLLA-g-MA.....	40
Gambar III.3	Skema Alat Pembuatan CA/(PLLA/ PLLA-g-MA) Beads.....	41
Gambar III.4	Skema Alat Pembuatan beads CA/PLLA-g-MA	42
Gambar III.3	Reaksi grafting MA ke PLLA membentuk kopolimer PLLA-g-MA.....	43
Gambar III.4	Skematis Sistem Kerja SEM.....	47
Gambar IV.1	Kapasitas adsorpsi MB oleh CA/ PLLA beads pada berbagai waktu.....	51
Gambar IV.2	Plot kurva kinetika adsorpsi MB oleh beads...	54
Gambar IV.3	Grafik kapasitas adsorpsi beads dan %removal MB dengan berbagai komposisi beads.....	57
Gambar IV.4	Kapasitas adsorpsi dan % removal MB oleh beads pada berbagai pH.....	60

Gambar IV.5	Kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB oleh <i>beads</i> pada berbagai suhu.....	63
Gambar IV.6	Kurva kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB oleh <i>beads</i> pada berbagai konsentrasi awal larutan MB.....	64
Gambar IV.7	Grafik % <i>removal</i> adsorpsi MB oleh <i>beads</i> dengan berbagai dosis <i>beads</i>	67
Gambar IV.8	Grafik kapasitas adsorpsi MB oleh <i>beads</i> dengan berbagai dosis <i>beads</i>	67
Gambar IV.9	FTIR dari <i>beads</i> hasil sintesis sebelum proses adsorpsi.....	68
Gambar IV.10	FTIR <i>beads</i> sebelum dan sesudah dilakukan proses adsorpsi.....	70
Gambar IV.11	Hasil SEM dari permukaan <i>beads</i> pada perbesaran 15000x sebelum dan sesudah adsorpsi larutan MB.....	73
Gambar IV.12	Hasil SEM dari belahan <i>beads</i> pada perbesaran 15000x sebelum dan sesudah adsorpsi larutan MB.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Teknik <i>Blending</i>	20
Tabel II.2 Sifat fisik dan kimia dari PDLA, PLLA, dan PDLA.....	22
Tabel IV.1 Kapasitas adsorpsi MB oleh CA/PLLA <i>beads</i> pada berbagai waktu.....	50
Tabel IV.2 Persamaan kinetika adsorpsi MB oleh CA/PLLA <i>beads</i>	52
Tabel IV.3 Parameter kinetika adsorpsi MB oleh CA/PLLA <i>beads</i>	53
Tabel IV.4 Kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB oleh <i>beads</i> dengan berbagai komposisi.....	56
Tabel IV.5 Kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB oleh <i>beads</i> pada berbagai pH.....	59
Tabel IV.6 Kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB oleh <i>beads</i> pada berbagai suhu.....	62
Tabel IV.7 Kapasitas adsorpsi <i>beads</i> dengan berbagai konsentrasi awal larutan MB.....	64
Tabel IV.8 Kapasitas adsorpsi dan % <i>removal</i> MB dengan berbagai dosis <i>beads</i>	66

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penggunaan dan pembuangan pewarna sintetis dari industri tekstil, makanan, percetakan dan tinta, kertas dan plastik adalah masalah kesehatan lingkungan yang serius, terutama untuk negara-negara berkembang (Yang , dkk., 2011). Industri tekstil sendiri mengkonsumsi lebih dari 10 juta kilogram zat warna per tahun di seluruh dunia (Ahmad dan Kumar, 2010) dengan hampir 1 juta kilogram zat warna per tahun dibuang ke perairan (Cestari , dkk., 2007). Kebanyakan pewarna sintetis stabil secara fisik, kimiawi, termal, biologis dan optik sehingga dapat berada di lingkungan dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, pewarna dan produk terdegradasinya merupakan bahan beracun, karsinogenik dan mutagenik yang menjadikannya ancaman bagi kehidupan perairan (Suteu , dkk., 2009; Zaharia , dkk., 2009).

Saat ini, teknik yang digunakan untuk menghilangkan pewarna dari limbah cair melibatkan proses biologis, fisik dan kimia yang meliputi degradasi mikroba, koagulasi & flokulasi, oksidasi kimia, elektrokimia dan adsorpsi. Dari berbagai metode tersebut, metode adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam proses *treatment* limbah bahan pewarna. Kelebihan metode adsorpsi dibanding metode lainnya adalah lebih efektif, tidak membutuhkan waktu lama, tidak menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan, tidak membutuhkan energi listrik yang besar, dan cakupan penggunaannya yang luas (Gupta, dkk., 2009).

Ada berbagai macam adsorban yang umum digunakan dalam proses *treatment* limbah pewarna dengan proses adsorpsi, diantaranya adalah alumina, gel silika, zeolite, dan karbon aktif. Diantara berbagai adsorban tersebut, karbon aktif komersial paling umum dipakai. Namun ia memiliki dua keterbatasan utama. Pertama, efisiensi *removal* dan biaya pewarna yang berbanding lurus dengan kualitas karbon aktif. Karbon aktif berkualitas tinggi

memberikan efisiensi *removal* pewarna yang lebih tinggi namun sangat mahal untuk dipersiapkan. Kedua, regenerasi karbon aktif melalui proses kimia atau termal sangat mahal, menyebabkan hilangnya adsorben dan menghasilkan limbah tambahan. Kendala-kendala dalam penggunaan karbon aktif berskala besar ini telah memotivasi banyak peneliti untuk mengeksplorasi adsorben alternatif dengan biaya rendah, atau umumnya disebut *low-cost adsorbents* (LCAs) (Gupta, dkk., 2009).

Dari berbagai macam jenis material telah diteliti potensinya sebagai LCAs, selulosa merupakan zat yang menunjukkan potensi paling baik untuk menggantikan karbon aktif. Selulosa memiliki karakteristik fisik dan kimiawi yang sangat baik dalam hal stabilitas dan kemampuan *removal* limbah pewarna. Struktur *polyol* selulosa lah yang membuat material berbasis selulosa dapat memiliki kemampuan adsorpsi secara kimiawi terhadap kation seperti ion logam dan basa organik, juga kemampuan adsorpsi secara fisis terhadap material lain seperti komponen asam dan anionik. Interaksi gaya Coulomb antara zat pewarna dan selulosa yang bermuatan negatif dalam air adalah interaksi yang sangat berpengaruh terhadap adsorpsi zat pewarna (Gupta, dkk., 2009). Selain itu, selulosa terkait polisakarida dan turunannya telah banyak menarik minat peneliti sebagai polimer ramah lingkungan (*biodegradable*), yang memiliki potensi tinggi untuk pengembangan lebih lanjut sebagai bahan polimer konvensional yang mempunyai kinerja yang baik dan murah (cinanat dkk, 2013). Selulosa juga mempunyai sifat unggul lainnya seperti tahan terhadap suhu tinggi, sifat biokompatibiliti yang bagus, dan tidak menghasilkan *byproduct* asam (Fernandes dkk, 2013).

Untuk keperluan sebagai adsorban, selulosa umumnya berbentuk *beads*. *Cellulose bead* berbentuk bulat dan berpori serta memiliki permukaan spesifik yang lebih tinggi sebagai selulosa berserat. Memiliki diameter partikel antara 1-1000 μm , memiliki sifat *swelling* yang baik. *Cellulose beads* memberikan berbagai potensi yang baik untuk penggunaannya sebagai adsorben. (Steffen dkk, 2008). *Cellulose beads* dapat diproduksi dalam berbagai

macam proses yaitu dengan metode droplet (tetesan-tetesan), jet-splitter, atau dalam skala laboratorium menggunakan jarum suntik atau dengan menekan melalui bahan yang berlubang dan metode dispersi. Selain selulosa, beberapa jenis turunan selulosa seperti CA, CAB (*cellulose acetate butyrate*), CC (*cellulose carbamate*) dan CXA (*cellulose xanthate*) juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan *bead* berbasis selulosa (Gericke dkk, 2012)

Suteu dkk (2015) melakukan penelitian pengaruh *micro crystalline cellulose bead* (cellets 200 dan cellet 350) terhadap sifat struktural dan daya serap sebagai adsorbent untuk menghilangkan zat warna reaktif brilliant red HE-3B dan pewarna kationik larutan metilen biru. Hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa struktur *cellulose beads* terdiri dari spheroids ukuran kecil dengan kisaran 200-350 μm untuk cellets 200 dan kisaran 350-500 μm untuk cellets 350. Pengaruh pH larutan bergantung pada muatan permukaan pada *cellulose beads* sebagai adsorbent, ketika permukaan *cellulose bead* positif maka mampu mengikat zat warna anionik yaitu brilliant red HE-3B, tetapi ketika permukaan *cellulose bead* negatif tidak mampu mengikat zat warna anionik melainkan mampu mengikat zat warna kationik yaitu metilen biru.

Pada penelitian ini, jenis selulosa yang digunakan adalah turunan selulosa yakni *Cellulose acetate* (CA). CA adalah ester yang paling penting dari selulosa, yang diperoleh dari reaksi *cellulose* dengan anhidrat asetat dan asam asetat dengan adanya asam belerang. Tergantung pengolahannya, CA dapat digunakan dalam berbagai aplikasi partikel berbentuk bola yang disebut *cellulose bead* yang dibuat dari *cellulose 2,5-acetate* (Steffen dkk, 2008). *Beads* yang berasal dari CA telah dilaporkan untuk diaplikasikan sebagai adsorben di bidang biomedis (Weber dkk, 2005).

Shi , dkk. (1999) melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa modifikasi selulosa secara kimiawi dengan teknik grafting dengan ion amina dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi anioniknya. Garg , dkk. (2004) juga menunjukkan bahwa *treatment* secara kimiawi terhadap adsorben berbasis selulosa dapat meningkatkan kapasitas adsorbsinya.

Salah satu Teknik modifikasi selulosa adalah dengan menggunakannya sebagai biokomposit. Biokomposit adalah material komposit yang tersusun dari biofiber atau serat alami yang dapat terdegradasi sebagai penguatnya (*filler*) dan polimer yang tidak dapat terdegradasi atau yang dapat terdegradasi sebagai matriksnya. Polimer biodegradable telah menjadi fokus penelitian dalam dua dekade ini. Dari berbagai macam polimer biodegradable, *Poly (Lactic Acid)* (PLA) merupakan polimer yang mendapat perhatian dalam dekade terakhir sebagai bahan struktural untuk aplikasi kemasan, tekstil, dan lingkungan karena biodegradabilitas, komposabilitas, biokompatibilitas, dan sebagian besar diperoleh dari sumber daya terbarukan (Detyothin, dkk., 2010). Sattar, dkk., (2017) melakukan penelitian untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi (q) karbon aktif (AC) dengan mengkombinasikannya dengan PLA dan membentuk kombinasi PLA/AC tersebut menjadi *bead*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi PLA yang digunakan, luas permukaan *bead* semakin besar dan kapasitas adsorpsi meningkat.

Secara parsial CA cocok dengan *Poly (L-Lactic Acid)* (PLLA), tetapi kecocokan tersebut bisa lebih ditingkatkan dengan mengoptimalkan kondisi seperti komposisi pelarut, komposisi pencampuran dan suhu (cinanat dkk, 2013). Wang dkk (2012) melakukan penelitian tentang investigasi sistematis dari properti mekanik dan biokompatibel komposit CA dengan PLA dimana sebelumnya maleic anhydride (MA) dicangkokkan pada PLA. Dilakukan pencangkokan MA pada PLA dengan tujuan memodifikasi PLA agar lebih kompatibel dengan komposit CA. Hasil analisa FTIR dan NMR menunjukkan bahwa pembentukan ester dari reaksi antara OH dan carboxyl di PLLA-g-MA secara signifikan mengubah struktur material komposit. Hasil morfologi komposit CA/(PLLA/PLLA-g-MA) konsisten dengan adhesi yang baik antara CA dan matriks PLLA-g-MA. Pada uji mekanik, komposit properti mekanik pencangkokan MA meningkat terutama kuat tariknya. Hasil uji SEM menunjukkan

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) composite memiliki properti mekanik dan biokompatibel yang lebih bagus.

Penelitian sebelumnya di laboratorium Teknologi Material ITS mengenai. Utami dkk (2016) telah melakukan Sintesa dan Karakterisasi Biokomposit *Poly(L-Lactid Acid)/Cellulose Acetate Bead* sebagai *Biodegradable Adsorben*. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin besar komposisi CA, permukaan *bead* yang dihasilkan semakin berpori dengan luas permukaan yang semakin besar. Sedangkan pada CA/PLLA *beads* kinerja proses adsorpsi semakin meningkat dengan penambahan material PLLA dalam CA/PLLA *beads*. Nilai % removal pada pH netral lebih besar dibandingkan % removal pada pH basa dan pH netral. Penelitian diatas hanya menggunakan dua variabel kombinasi CA/PLLA. Penelitian ini lebih difokuskan pada uji kinerja dan karakteristik adsorpsi biokomposit CA/PLLA dan pengaruh kondisi operasi proses adsorpsi tersebut. Untuk lebih dalam mengetahui pengaruh komposisi perbandingan berat antara CA dan PLLA terhadap karakteristik dan kinerja adsorpsi bahan pewarna oleh biokomposit CA/PLLA *beads* , pada penelitian ini akan digunakan konsentrasi *solute* sebesar 10 dan 15% dengan 5 variabel kombinasi biokomposit CA/PLLA. Juga diteliti mengenai pengaruh modifikasi PLLA dengan MA terhadap kinerja adsorpsi biokomposit CA/(PLLA/PLLA-g-MA). Sedangkan untuk mempelajari pengaruh kondisi operasi adsorpsi bahan pewarna oleh biokomposit CA/PLLA akan digunakan variasi pH, suhu, dosis adsorban, dan konsentrasi adsorbat.

1.2 Perumusan dan Batasan Masalah

1.2.1 Perumusan Masalah

Teknik pemisahan bahan pewarna yang paling banyak digunakan adalah metode adsorpsi. Belakangan ini penelitian mengenai *low cost alternative adsorbans* (LCAs) semakin intensif. Dari berbagai macam jenis material telah diteliti potensinya sebagai LCAs, selulosa merupakan zat yang menunjukkan potensi

paling baik untuk menggantikan karbon aktif. *Treatment* secara kimiawi terhadap adsorben berbasis selulosa dapat meningkatkan kapasitas adsorbsinya. Salah satu Teknik modifikasi selulosa adalah dengan menggunakannya sebagai biokomposit. Penggunaan *Poly (Lactic Acid)* (PLA) sebagai bahan campuran untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi bahan pewarna oleh karbon aktif menunjukkan hasil yang positif. Dengan mempertimbangkan kelebihan masing-masing komponen, pencampuran antara CA dan PLLA diharapkan dapat membentuk biokomposit yang mempunyai sifat unggul dan kinerja yang baik pada pengaplikasiannya. Pada penelitian ini, biokomposite material CA/PLLA akan diteliti properti dan performanya sebagai adsorben dalam bentuk *bead*, dimana metilen biru akan digunakan sebagai bahan yang diserap (adsorbat). Penelitian tentang pengaplikasian CA menjadi *cellulose bead* telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, namun sebagian besar penelitian di atas hanya menekankan pada sintesa dan properti dari *cellulose bead* saja. Sedangkan untuk mengetahui kinerja CA/PLLA *bead* sebagai adsorber dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan kondisi operasi optimum pada proses adsorpsi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, beberapa faktor yang mempengaruhi performa biokomposite CA/PLLA *bead* sebagai adsorber seperti perbandingan berat PLLA dan CA, pH dan suhu operasi proses Adsorpsi perlu diteliti lebih lanjut. Karakteristik biokomposite CA/PLLA yang akan diamati meliputi analisa gugus fungsi dan morfologi CA/PLLA sebelum dan setelah proses adsorpsi, serta kapasitas adsorpsi CA/PLLA dan %removal pada proses adsorpsi.

1.2.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini:

- a. Pengujian karakteristik adsorpsi biokomposit dilakukan pada tekanan atmosfer.
- b. Adsorbat yang digunakan dalam uji adsorpsi ini adalah *Methylene Blue* (MB)
- c. Bahan pengisi atau *filler* dari biokomposit *bead* ini adalah *Cellulose Acetate*

- d. Bahan polimer matriks yang digunakan adalah *poly(L-lactic acid)* (PLLA) dan *poly(L-lactic acid)-graft-Maleic Anhidrat* (PLLA-g-MA)
- e. Karakterisasi morfologi dan analisa gugus fungsi biokomposit *bead* dilakukan pada suhu kamar.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh perubahan perbandingan berat antara CA dan PLLA terhadap karakteristik biokomposit CA/PLLA dan kinerja adsorpsi dari CA/PLLA *beads* pada berbagai kondisi operasi adsorpsi.
2. Mempelajari pengaruh penambahan kompatibilizer PLLA-g-MA terhadap kinerja adsorpsi biokomposit *beads*
3. Mempelajari pengaruh perubahan pH, suhu, dan konsentrasi larutan *dye*, serta dosis *bead* terhadap kinerja adsorpsi dari biokomposit CA/PLLA dan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) *beads*
4. Mempelajari kinetika adsorpsi zat warna *methylene blue* oleh CA/PLLA *beads*

I.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat mejadi tambahan data referensi penelitian tentang material penyusun *bead* berbasis selulosa bagi peneliti dan penelitian lainnya. Di samping itu, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan tentang aplikasi dari *bead* berbasis selulosa sebagai adsorben alternatif.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap kedalam. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan kedalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Pada adsorpsi interaksi antara bahan penyerap (adsorben) dengan bahan yang diserap (adsorbat) hanya terjadi pada permukaan adsorben.

Berdasarkan Interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua yaitu :

- **Adsorpsi Fisika**

Adsorpsi Fisika terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Pada adsorpsi fisika, gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (Intermolekuler) lebih kecil dari pada gaya tarik menarik antar molekul fluida tersebut sehingga gaya tarik menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya . Keseimbangan antara permukaan padatan dengan molekul fluida biasanya cepat tercapai dan bersifat

reversibel. Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori.

- **Adsorpsi Kimia**

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen/ion. Ikatan yang terbentuk kuat sehingga spesi aslinya tidak dapat ditentukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk maka adsorbat tidak mudah terdesorpsi. Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisik dimana adsorbat mendekat kepermukaan adsorben melalui gaya Van der Waals / Ikatan Hidrogen kemudian melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasa merupakan ikatan kovalen.

Adsorpsi terjadi karena adanya gaya tarik menarik antar molekul adsorbat dengan situs aktif di permukaan adsorben. Zat yang mengadsorpsi disebut adsorbat, sedangkan material tempat terakumulasinya adsorbat disebut adsorben. Adsorpsi dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia adsorben seperti ukuran molekul adsorbat, karakteristik adsorbat, waktu pengadukan, konsentrasi adsorbat, suhu, pH dan luas permukaan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Dalam hal ini ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, yaitu :

- **Sifat Serapan**

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh adsorben tergantung dari kemampuan masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, dan struktur rantai dari senyawa serapan.

- Temperatur

Faktor yang mempengaruhi temperature proses adsorbsi adalah viskositas dan stabilitas senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatile, adsorbs dilakukan pada temperature kamar atau bila memungkinkan pada temperature rendah.

- pH (Derajat Keasaman)

Kondisi pH larutan dapat mempengaruhi daya serap adsorben yang peka terhadap perubahan pH yang dapat disebabkan oleh adanya protonasi atau deprotonasi gugus fungsi pada adsorben.

Pada adsorpsi, juga dikenal istilah kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi dapat diwakili oleh plot serapan vs waktu; plot ini dikenal sebagai isoterm kinetik. Plot ini membentuk dasar dari semua studi kinetika karena bentuknya menggambarkan kinetika proses yang mendasarinya. Kinetika tergantung pada faktor bahan, seperti jenis adsorben dan adsorbat, dan faktor eksperimental, seperti suhu dan pH. Umumnya, percobaan *batch* dilakukan untuk mengumpulkan data kinetik. Memastikan kondisi eksperimental konstan selama adsorpsi *batch* adalah penting. Kinetik adsorpsi isoterm idealnya menjelaskan kinetika intrinsik, yang merupakan kinetika kimia pada permukaan adsorben tanpa batasan tranfer massa. Efek transfer massa relatif mudah dikurangi atau dihilangkan dengan menerapkan kecepatan agitasi tinggi (mengurangi ketebalan film) dan membuat ukuran partikel lebih kecil (mengurangi resistensi difusi pori).

Berat adsorbat per satuan massa adsorben, biasa dilambangkan dengan Q (mg/g) dimana

$$Q = \frac{(C - C_o)}{G} \times V$$

di mana:

- Co = konsentrasi awal larutan adsorbat (mg/l)
C = konsentrasi awal larutan adsorbat pada saat T(mg/l)
V = volume larutan ruahan (L)
m = massa adsorben (g)

Untuk setiap aplikasi praktis, proses desain, operasi kontrol dan kinetika adsorpsi sangat penting karena kinetika adsorpsi menjelaskan penyerapan zat terlarut.

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam adsorben, sehingga untuk bisa teradsorpsi, logam dalam cairan mengalami proses-proses seri sebagai berikut :

1. Perpindahan massa logam dari cairan ke permukaan adsorben
2. Difusi dari permukaan adsorben ke dalam adsorben melalui pori
3. Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben
4. dsorpsi logam pada dinding pori adsorben Perpindahan massa logam dari cairan dalam pori ke dinding pori adsorben umumnya berlangsung sangat cepat sehingga proses ini tidak mengontrol kecepatan adsorpsi secara keseluruhan.

Lebih dari 25 model telah dilaporkan dalam literatur, untuk menggambarkan kuantitatif kinetika selama proses adsorpsi. Setiap model kinetik adsorpsi memiliki keterbatasan sendiri berdasarkan asumsi-asumsi yang digunakan. Model kinetika biosorpsi yang umum digunakan yaitu model kinetika pseudo-first order dan model kinetika pseudo-second order.

A. Model kinetika Pseudo-First Orde

Model kinetika pseudo order satu diturunkan berdasarkan persamaan laju reaksi Lagergren. Pada 1898, Lagergren pertama kali memperkenalkan persamaan untuk adsorpsi cair-padat berdasarkan kapasitas padatan. Persamaan Lagergren adalah salah satu persamaan yang paling banyak digunakan untuk adsorpsi

terlarut dari larutan cair. Persamaan dapat diwakilkan sebagai berikut :

$$\frac{dQ}{dt} = k_L(Q_{eq} - Q_t)$$

Dari persamaan diatas, diintegrasi pada kondisi batas $t=0$, $Q_0=0$ dan $Q_t=0$ sampai $Q_t=t$, menghasilkan persamaan:

$$\ln\left(\frac{Q_{eq}}{Q_{eq} - Q_t}\right) = k_L t$$

Dimana:

Q_{eq} = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa pada kondisi equilibrium, mg/g

Q_t = jumlah ion logam yang terserap per satuan berat biomassa pada setiap waktu, mg/g

k_L = Konstanta rate pseudo-first order (1/s)

B. Model kinetika Pseudo-Second Orde

Model kinetika pseudo order dua tergantung pada kemampuan mengadsorpsi masing-masing fase padat. Beberapa asumsi yang digunakan untuk model kinetika ini:

1. Terbentuk monolayer adsorbate pada permukaan Adsorben.
2. Energi adsorpsi untuk setiap adsorben adalah yang sama dan independen dari cakupan permukaan.
3. Adsorpsi terjadi hanya di situs lokal dan tidak melibatkan interaksi antara polutan.

Persamaan kinetik tingkat dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dQ_1}{dt} = k_s(Q_{eq} - Q_t)^2$$

$$\frac{dQ_1}{(Q_{eq} - Q_t)^2} = k_s dt$$

Diintegrasikan dengan kondisi batas $t=0$, $q_0 = 0$ dan $q_t = 0$ sampai $q_t = t$, menjadi

$$\frac{1}{Q - Q_{eq}} = \frac{1}{Q_{eq}} + k_s t$$

$$Q = \frac{t}{\frac{1}{k_s Q_{eq}^2} + \frac{t}{Q_{eq}}}$$

Maka, jika dilinierkan diperoleh persamaan :

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_s Q_{eq}^2} + \frac{t}{Q_{eq}}$$

C. Model kinetika Ellovich Equation

Pertama kali diusulkan oleh Roginsky dan Zeldovich pada tahun 1934 untuk menggambarkan adsorpsi CO pada mangan dioksida, persamaan Elovich dinyatakan sebagai

$$\frac{dQ}{dt} = a \exp(-bQ)$$

Bentuk terintegrasi adalah

$$Q = \frac{1}{b} \ln(1 + abt)$$

Bentuk yang lebih sering digunakan didasarkan pada asumsi $abt \gg 1$. Bentuk yang dilinearisasi adalah

$$Q = \frac{1}{b} \ln(ab) + \frac{1}{b} \ln(t)$$

$(\ln(ab))/b$ adalah laju adsorpsi awal (mg/g.mnt), dan b adalah konstanta desorpsi yang terkait dengan luasnya cakupan permukaan dan energi aktivasi untuk chemisorption. Persamaan Elovich mengabaikan desorpsi sehingga dapat menggambarkan jenis adsorpsi isotherm chemisorption dengan baik. Hal ini tidak aplikatif secara fisik karena mendahului Q yang tidak terbatas pada

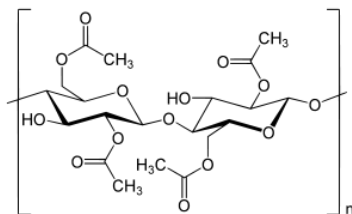
jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, sangat cocok untuk kinetika yang jauh dari kesetimbangan di mana desorpsi tidak terjadi karena cakupan permukaan yang rendah. Banyak karya telah berusaha untuk menetapkan dasar teoritis untuk Persamaan Lovich, dan sebagian besar dari karya-karya ini mengasumsikan heterogenitas yang kuat pada permukaan adsorben. Seperti yang diharapkan dari makna fisik mereka, konstanta a dan b meningkat dengan meningkatnya konsentrasi pewarna awal. Ketika suhu larutan massal meningkat, nilai α yang diamati meningkat, tetapi b menurun.

II.2 Cellulose Acetate (CA)

Cellulose Acetate merupakan ester asam organik dari selulosa yang telah lama dikenal di dunia. Produksi *Cellulose Acetate* adalah yang terbesar dari semua turunan selulosa. *Cellulose Acetate* pertama kali dikenalkan oleh Schutzenberger pada 1865. Pada 1879, Franchimont melaporkan penggunaan asam sulfat sebagai katalis untuk asetilasi, dimana katalis ini masih sangat biasa digunakan untuk produksi *Cellulose Acetate* secara komersial. Proses pembuatan *Cellulose Acetate* selanjutnya disempurnakan oleh Miles (1903) dan Von Bayer (1906). Selanjutnya dibawah pengawasan Camille dan Henri Dreyfus untuk pertama kalinya direalisasikan proses produksi *Cellulose Acetate* dengan skala besar di Inggris (Mc Ketta, 1997).

Salah satu kelebihan *Cellulose Acetate* sebagai material membran adalah mudah diproduksi dan bahan mentahnya merupakan sumber yang dapat diperbaharui. Kekurangan *Cellulose Acetate* adalah sangat sensitive terhadap pH antara 2 sampai 8, biodegradable, yaitu sangat rentan terhadap mikroba yang ada di alam (Bhongsuwan *et al.*, 2008). Teknik-teknik yang biasanya digunakan pada proses pembuatan membran antara lain *sintering*, *stretching*, *track-etching*, *template leaching* dan inversi fasa. *Cellulose Acetate* dapat dibuat dengan metode inversi fasa. Inversi fasa adalah suatu proses pengubahan bentuk polimer dari

fasa cair menjadi padatan dengan kondisi terkendali. Asam asetat secara umum adalah pelarut yang baik untuk *Cellulose Acetate*. Selulosa asetat juga merupakan bahan baku untuk membuat apa yang disebut *Cellulose Beads*, yang berciri permukaan berpori, cetakan bulat dan mereka memiliki permukaan spesifik yang lebih tinggi sebagai berserat selulosa. Untuk nilai kelarutan semua *Cellulose Acetate* diuji dengan melarutkan dalam aseton dan campuran diklorometana-metanol-campuran (ratio^{1/4} 80:20). Larutan CA memberikan nilai kekeruhan yang berbeda dalam aseton. Kekeruhan adalah penurunan transparansi cairan disebabkan oleh adanya zat yang belum terpecahkan. Kekeruhan terlarut asetat selulosa ditentukan oleh pengukuran nephelometric, yaitu dengan penentuan dari radiasi yang tersebar pada sudut 90°. Solusi kekeruhan diukur dengan 2100 AN nephelometer (Hach, Loveland, Colorado, USA). Semua nilai-nilai diberikan dalam Nephelometric Unit kekeruhan (NTU).



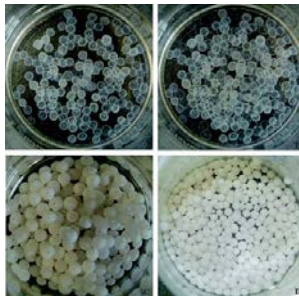
Gambar II.1 Rumus Bangun *Cellulose Acetate*

Cellulose Acetat mempunyai rumus molekul $[C_6H_7O_2(OCOCH_3)_3]_x$, berwujud padat dengan bentuk granula atau serbuk dan berwarna putih. Karena keseragamannya dalam kualitas, kemudahan dalam pewarnaan dan berbagai karakteristik estetika lainnya, menjadikan *Cellulose Acetate* sebagai pilihan dalam pembuatan pakaian wanita dan keperluan kain pada rumah tangga. *Cellulose Acetate* adalah serat yang paling banyak digunakan dalam bidang tekstil karena harganya yang ekonomis, warna terang, dan variasi sifat yang beraneka ragam. Penggunaan terbesar yaitu sebagai serat material pada filter rokok. *Cellulose Acetate* bersifat hidrofobik dan memiliki sifat yang mudah untuk

dibentuk, quick drying, tidak mudah berkerut, dan stabilitas tinggi (Mc. Ketta, 1997). Pemakaian penting lainnya adalah sebagai filter pada sigaret, untuk produksi lembaran-lembaran plastik, film, dan juga cat, dan filter pada rokok. Oleh karena itu, *Cellulose Acetate* merupakan bahan industri yang cukup penting peranannya (Kirk & Othmer, 1977). Adapun karakteristik dari *Cellulose Acetate* adalah :

- Bersifat termoplastik.
- Absorpsi selektif dan penghilangan zat organik tingkat rendah.
- Dapat berikatan dengan plasticizers, tahan terhadap panas dan tekanan.
- Dapat larut dalam berbagai pelarut (terutama aseton, dan beberapa pelarut organik lainnya).
- Bersifat hidrofilik, asetat mudah basah dengan perpindahan cairan yang baik dan absorpsi yang bagus, dalam keadaan kering ketahanan asetat berkurang.
- Luas permukaan yang tinggi.

II.3 Cellulose Beads



Gambar II.2 Cellulose Beads

Keberadaan *Cellulose Beads* di pasaran dapat dengan mudah ditemukan dengan bentuk partikel mengembang di dalam air yang memiliki porosivitas tinggi dan sifat fungsional yang menarik karena sejumlah besar kelompok hidroksil reaktif. Prinsip

umum pembuatan *Cellulose Beads* adalah untuk melarutkan derivatif *cellulose* (viscose, ester selulosa, atau eter), dan kemudian regenerasi selulosa dalam bak koagulasi yang komposisi kimia disesuaikan untuk melakukan " de-derivatisasi " (Hidrolisis, deasetilasi, dll)

Cellulose beads dan turunannya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, ini dilihat dari sifat khas *beads* cellulose, seperti ketersediaan produk dan harga terjangkau, bentuk bola, kemungkinan untuk memilih ukuran partikel, kekuatan mekanik (kerugian tekanan rendah di kolom, kemungkinan untuk bekerja sebagai filter industri), porositas tinggi (aksesibilitas untuk senyawa molekul tinggi massa), hidrofilisitas (toleransi struktur biologis, kinetika cepat), dan reaktivitas kimia di derivatizations. Umumnya *Cellulose beads* digunakan dalam bidang biokimia dan bioteknologi, terutama enzim rekayasa. Selain itu diaplikasikan dalam adsorpsi dan pertukaran ion kromatografi ion logam. Luasnya aplikasi yang mungkin adalah ditunjukkan dengan upaya untuk menyiapkan bahan komposit baru berdasarkan *beads cellulose*, yang cocok sebagai operator atau adsorben senyawa biologis aktif, dan upaya untuk mempersiapkan arang bead dan cryoperlose, yaitu perlose jenuh dengan larutan nonfreezing. *Cellulose beads* dalam bentuk kering adalah salah satu bubuk biopolymeric berhasil diterapkan dalam pengobatan purulen, digunakan juga sebagai bahan krim kosmetik.

Cellulose beads dapat dibuat dari larutan dengan baik menggunakan mesin " *droplet-making*" seperti *atomizers* dan *jet-splitter* , atau pada skala laboratorium, dengan jarum suntik atau dengan menekan larutan melalui material berlubang. Untuk meningkatkan beberapa spesifisitas sifat penyerapan selulosa dapat dengan beberapa polisakarida lainnya, seperti kitin atau kitosan. Pencampuran selulosa dengan ester selulosa dalam pelarut umum dapat memengaruhi aspek rasio *beads*.

II.4 Biokomposit

Biokomposit dapat didefinisikan sebagai materil komposit yang terdiri dari polimer alami atau biofiber (serat alami) yang dapat terdegradasi sebagai penguat dan polimer yang tidak dapat terdegradasi atau yang dapat terdegradasi sebagai matriks. Material Biokomposit terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui sehingga pembuatannya dapat mengurangi konsumsi energi dan biaya produksi. Selain itu biokomposit juga memiliki kemampuan terdegradasi yang baik. Perkembangan penelitian biokomposit sudah sangat beragam, tidak hanya mencakup produk-produk untuk kebutuhan bahan bangunan, seperti papan partikel, kayu lapis atau papan semen dan lainnya, tapi juga telah berkembang dengan pesat ilmu dan produk bio-plastik atau plastik yang diperkuat dengan bahan-bahan selulosa, baik berupa produk *wood plastic composite (wpc)* atau *injection molded natural fiber-polimer*. Produk-produk plastik ini berperan penting dalam pengembangan industri otomotif yang ramah lingkungan.

II.5 Blending

Blending merupakan metode pencampuran dua jenis polimer sintesis yang bisa dilakukan melalui *melt blending* atau *solvent blending*. Secara umum, proses blending ditujukan untuk meningkatkan sifat fisik dari polimer (mekanik dan thermal). Solvent blending adalah pencampuran antar polimer dengan menggunakan pelarut (*solvent*), Yang memegang penting dalam proses ini adalah parameter solubility (kelarutan) antar polimer yang akan dicampur. Interaksi yang terjadi dalam *Blending* adalah ikatan *Van der Waals*, ikatan hidrogen atau interaksi dipol-dipol. Paduan polimer ini bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat material yang diinginkan dan disesuaikan dengan keperluan. *Blending* komersial dapat dihasilkan dari polimer sintetik dengan polimer sintetik, polimer sintetik dengan polimer alam, dan polimer alam dengan polimer alam. Beberapa teknik *blending* dipaparkan dalam table II.2.

Tabel II.1 Teknik *Blending*

Teknik preparasi	Deskripsi
<i>Mechanical blends</i>	Polimer/kopolimer di campur pada suhu diatas Tg atau Tm masing-masing polimer yang bersifat amorf dan semikristalin
<i>Mechanochemical blends</i>	Polimer/kopolimer dicampur dengan laju geser yang cukup tinggi sehingga polimer mengalami degradasi. Radikal-radikal bebas yang terbentuk berkombinasi menghasilkan campuran kompleks yang mengandung kopolimer blok atau cangkuk
<i>Solution cast blends</i>	Polimer/kopolimer dicampur dengan melarutkannya ke dalam pelarut tertentu hingga homogeny, kemudian pelarut dihilangkan melalui penguapan sehingga dapat membentuk film polimer
<i>Latex blends</i>	Dispersi-dispersi dari polimer dalam air (lateks) dicampur lalu polimer-polimer yang bercampur tersebut dikoagulasi

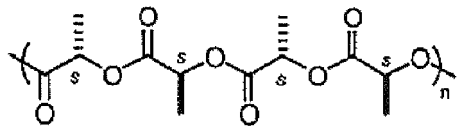
Metoda yang umum digunakan dalam pembentukan *Blending* adalah metode pelarutan (*solution cast blends*) dan metode pelelehan (*mechanical blends*), akan tetapi untuk penelitian kali ini kami menggunakan metode pelarutan dikarenakan metode ini lebih mudah diaplikasikan dibandingkan dengan metode pelelehan (*mechanical blends*).

II.6 Poly Lactic Acid (PLA)

Asam laktat (*lactic acid*) adalah salah satu asam organik yang penting di industri, terutama di industri makanan. Di samping itu, penggunaannya sekarang lebih luas karena bisa dipakai sebagai bahan baku pembuatan *poly lactic acid*, biodegradabel plastik yang merupakan polimer dari asam laktat. Salah satu jenis biodegradabel poliester adalah Poli asam laktat (*poly lactic acid*). Poli asam laktat (PLA) ditemukan pada tahun 1932 oleh *Carothers (DuPont)* yang memproduksi PLA dengan memanaskan asam laktat pada kondisi vakum. Pada tahap selanjutnya, *DuPont* dan *Ethicon* memfokuskan pembuatan aplikasi medical grade sutures, implan dan kemasan obat. Baru-baru ini, beberapa perusahaan seperti Shimadzu dan Mitsui Tuatsu di Jepang telah memproduksi sejumlah PLA untuk aplikasi plastik. Poli asam laktat atau Poli laktida (PLA) dengan rumus kimia $(\text{CH}_3\text{CHOHCOOH})_n$ adalah sejenis polimer atau plastik yang bersifat biodegradabel, termoplastik dan merupakan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati jagung, pati ubi dan sebagainya. Walaupun PLA sudah dikenal sejak abad yang lalu, namun baru diproduksi secara komersial dalam beberapa tahun terakhir dengan keunggulannya yaitu memiliki kemampuan untuk terdegradasi secara biologi.

PLA memiliki sifat tahan panas, kuat, dan merupakan polimer yang elastis. Homopolimer dari PLA adalah bubuk putih pada suhu kamar dengan T_g dan T_m nilai-nilai sekitar 55°C dan 175°C . PLA berbentuk kristal yang tidak berwarna, dan mengkilap mirip dengan polistiren. PLA merupakan *polyester thermoplastic* yang memiliki atom C asimetrik atau kiral sehingga memiliki tiga jenis struktur polimer yang berbeda yaitu poli (D-asam laktat) (PDLA) merupakan material kristal dengan struktur rantai reguler, poli (L-asam laktat) (PLLA) yang merupakan hemi-kristal dengan struktur rantai reguler, dan poli(D,L-asam laktat) (PDLLA) yang merupakan material bersifat amorf (Lin, 2012). PLLA mempunyai kristalinitas 37%. Penggunaan PLLA sebagai bahan mentah dalam

industri polimer juga menjadi solusi untuk mengatasi beberapa masalah lingkungan terutama dalam hal limbah plastik yang tidak dapat terdegradasi di alam dengan mudah.



Gambar II.3 Rumus Bangun *PLLA (Poly L-Lactic Acid)*

Tabel II.2 Sifat Fisik dan Kimia dari PDLA, PLLA, dan PDLLA
(*Sumber: Lin Xiao dkk, 2013*)

Properti	PDLA	PLLA	PDLLA
Kelarutan	Larut dalam benzene, kloroform, asetonitril, tetrahydrofuran (THF), dioxin Tidak larut dalam ethanol, metanol, dan allifatik hidrokarbon.		
Struktur kristal	Kristalin	Hemikristalin	Amorf
Titik leleh (Tm) (°C)	~180	~180	Bervariasi
Suhu transisi Gelas (Tg) (°C)	50-60	55-60	Bervariasi
Suhu dekomposisi (°C)	~200	~200	185-200
Elongation at break (%)	20-30	20-30	Bervariasi
Breaking strength (g/d)	4.0-5.0	5.0-6.0	Bervariasi
Waktu degradasi pada 37° C	4-6 bulan	4-6 bulan	2-3 bulan

PDLA, PLLA dan PDLLA larut dalam pelarut organik termasuk benzena, kloroform, dioksan, dll dan dapat diturunkan oleh hidrolisis sederhana dari ikatan ester bahkan tanpa adanya α hidrolase. PLA akan terdegradasi di lingkungan mulai dari 6 bulan

hingga 2 tahun, tergantung pada ukuran dan bentuk artikel, rasio isomer nya, dan suhu. Sifat tarik PLA dapat bervariasi tergantung pada anil atau berorientasi, atau derajat dari kristalinitas.

Poly (L-Lactic Acid) (PLLA) merupakan bioplastik yang memiliki potensi sebagai alternatif substitusi polimer berbasis minyak bumi karena PLLA memiliki sifat fisik polimer termoplastik, modulus elastisitas yang tinggi, dan dapat diproses. Penggunaan PLLA sebagai bahan mentah dalam industri polimer juga menjadi solusi untuk mengatasi beberapa masalah lingkungan terutama dalam hal limbah plastik yang tidak dapat terdegradasi di alam dengan mudah. Bagaimanapun juga, PLLA memiliki kekurangan yang membatasi penggunaannya dalam beberapa aplikasi tertentu. Dalam proses produksi material pembungkus skala besar (film and sheet casting, stretch blow molding, dan injection molding), PLLA memiliki masalah karena sifatnya yang kaku, mudah patah, dan laju kristalisasi yang rendah. Walaupun kekuatan tensile/luluh (tensile strength) dan modulus elastisitasnya sebanding dengan plastik berbasis minyak bumi, nilai toughness yang rendah akan membatasi penggunaannya dalam aplikasi komersial yang membutuhkan ketahanan terhadap deformasi pada level aplikasi beban yang tinggi (*high stress level*).

PLLA sebagai bahan biodegradable plastik mempunyai sifat mekanis yang bagus, tingkat hidrofob yang rendah, dan stabilitas thermal yang rendah. Akan tetapi PLLA tidak tahan pada suhu tinggi dan sensitif pada kelembaban, untuk itu bahan tersebut perlu dipadukan dengan material lain untuk memperbaiki kekurangannya. Salah satu material yang dapat digunakan untuk meningkatkan properti dari PLLA adalah selulosa. Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman. Kandungan selulosa pada dinding sel tanaman tingkat tinggi sekitar 35-50% dari berat kering tanaman. Selulosa terdapat pada semua tanaman dari pohon tingkat tinggi hingga organisme primitif seperti rumput laut, flagellata, dan bakteri (Fengel dan Wegner, 1995). Selulosa bertindak sebagai filler yang dapat memperbaiki property PLLA karena selulosa

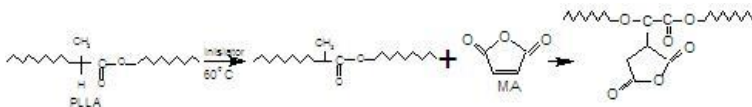
mempunyai sifat mekanik yang bagus, ketahanan minyak dan uap air, selain itu selulosa ketersediaannya tinggi dan harganya murah. Tetapi, selulosa mempunyai kelemahan, yaitu mudah rapuh, sensitif terhadap kelembapan, dan mempunyai suhu pelunakan yang rendah.

II.7 Proses Grafting Kopolimer

Salah satu metode yang diketahui efektif untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan ke dalam PLLA adalah dengan teknik grafting. Teknik grafting telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang aplikasi antara lain untuk mengubah sifat-sifat polimer induk dengan tujuan seperti untuk meningkatkan kekuatan adhesif polimer, biodegradasi polimer, memberikan sifat kepekaan polimer terhadap perubahan suhu dan pH, sifat hidrofilik sebagai superadsorben, memberikan sifat penghantar proton sebagai membran sel bahan bakar, dan sifat penukar ion (Zhang, 2009). Jadi, grafting kopolimer adalah suatu polimer yang terdiri dari molekul-molekul dengan satu atau lebih jenis dari monomer yang terhubung pada sisi rantai utama, grafting kopolimer dapat juga disiapkan oleh proses kopolimerisasi cabang dengan monomer yang akan membentuk rantai utama,

Dalam rangka meningkatkan performanya, terutama yang berhubungan dengan sifat kepolaran poli asam laktat, poli asam laktat perlu dimodifikasi sehingga memiliki gugus polar dalam rantainya. Modifikasi pencangkakan merupakan salah satu cara yang efektif untuk memperluas penerapan aplikasi poli asam laktat. Salah satu senyawa yang dapat diaplikasikan untuk kopolimer pencangkakan ke dalam poli asam laktat adalah anhidrida maleat dan beberapa senyawa analognya (Rzayev, 2011). Metode pencangkakan bisa dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan metode penggunaan pelarut, pelelehan (Belekin, et al. 2015) padatan dan induksi radiasi (Xianru, et al. 2013; Rzayev, 2011).

Metode penggunaan pelarut dan pelelehan merupakan cara yang umum digunakan. Metode pelelehan memiliki beberapa kelebihan, antara lain waktu yang dibutuhkan untuk reaksi relatif sebentar tidak memerlukan pelarut dan tanpa perlakuan setelah proses. Namun metode ini juga memiliki kelemahan yaitu persen pencangkokannya cenderung rendah. Persen pencangkokan sangat berpengaruh terhadap performa kopolimer. Persen pencangkokan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: suhu reaksi, waktu reaksi, konsentrasi monomer, inisiator dan pelarut yang digunakan. Semakin tinggi persen pencangkokan monomer yang menempel pada poli asam laktat akan memperluas aplikasinya. Senyawa tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap dan gugus polar dapat digunakan sebagai monomer untuk pencangkokan ke dalam poli asam laktat, biasanya anhidrida maleat dan senyawa analognya. Mekanisme inisiasi radikal bebas sangat berpengaruh dalam proses pencangkokan sehingga dibutuhkan senyawa inisiator yang tepat. Senyawa yang bisa digunakan sebagai inisiator antara lain senyawa peroksida, yaitu : peroksida benzoil, peroksida tetr-butyl dan peroksida dicumil. Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis poly(L-Lactic Acid)-graft-Maleic Anhydride (PLLA-g-MA) untuk mengetahui pengaruh modifikasi PLLA terhadap properti PLLA-g-MA dengan Cellulose Acetate.

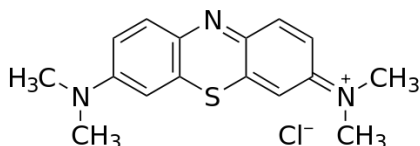


Gambar II.4 Reaksi *grafting* MA ke rantai PLLA

II.8 Methylene Blue

Methylene blue yang memiliki rumus kimia $C_{16}H_{18}ClN_3S$ adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan zat warna kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. Pada umumnya *methylene blue* digunakan sebagai pewarna sutra, wool, tekstil, kertas, peralatan kantor dan kosmetik. Senyawa

ini 7 berupa kristal berwarna hijau gelap. Ketika dilarutkan, *methylene blue* dalam air atau alkohol akan menghasilkan larutan berwarna biru. *Methylene blue* memiliki berat molekul 319,86 gr/mol, dengan titik lebur di 105°C dan daya larut sebesar 4,36 x 104 mg/L (Palupi, 2006).



Gambar II.5 Rumus Bangun *Methylene Blue*

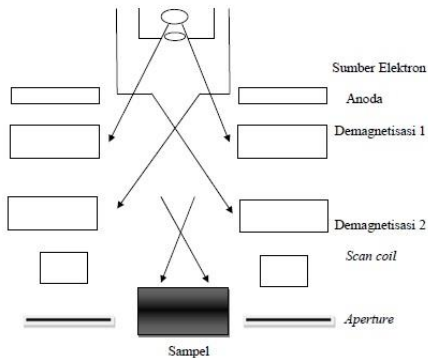
Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Manurung, 2004). Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna. Gugus-gugus penghubung dapat mempengaruhi daya serap dan ketahanan zat warna terhadap asam atau basa. Gugus-gugus reaktif merupakan bagian-bagian dari zat warna yang mudah lepas. Dengan lepasnya gugus reaktif ini, zat warna menjadi mudah bereaksi dengan serat kain. Pada umumnya agar reaksi dapat berjalan dengan baik maka diperlukan penambahan alkali atau asam sehingga mencapai pH tertentu (Manurung, 2004).

II.9 Analisa yang Dilakukan

- **Analisa SEM**

SEM adalah suatu instrumen penghasil berkas elektron pada permukaan specimen target dan mengumpulkan serta menampilkan sinyal-sinyal yang diberikan oleh material target. Pada prinsipnya SEM terdiri dari kolom elektron, ruang sampel, dan sistem vakum. Dalam hal analisis morfologi kopolimer

penggunaan alat SEM berkembang luas. Prinsip analisis menggunakan SEM adalah dengan sinyal electron sekunder dapat dilihat pada skema gambar di bawah ini :



Gambar II.6 Skema Peralatan Analisa SEM

Teknik SEM pada dasarnya merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan. Data yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan topografi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan. Gambar topografi diperoleh dengan penangkap elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Sampel yang akan dianalisis dengan menggunakan teknik ini harus mempunyai permukaan dengan konduktivitas yang tinggi, karena polimer mempunyai konduktivitas yang rendah maka bahan perlu dilapisi dengan bahan konduktor (bahan pengantar) yang tipis. Bahan yang biasa digunakan adalah perak, tetapi jika dianalisis dalam waktu yang lama lebih baik menggunakan emas atau campuran emas dan palladium. Berkas elektron diarahkan pada suatu permukaan spesimen yang telah dilapisi oleh suatu film konduktor. Pelapisan ini bertujuan agar polimer yang diguakaan dapat menghantarkan arus listrik sehingga dapat berinteraksi dengan berkas elektron. Berkas elektron yang berinteraksi dengan spesimen dikumpulkan

untuk mengetahui intensitas elektron pada suatu tabung televisi yang diarahkan serentak dengan sinar dari mikroskop. Interaksi berkas elektron dengan spesimen akan menghasilkan pola difraksi elektron yang dapat memberikan informasi mengenai kristalografi, jenis unsur serta distribusinya dan morfologi dari permukaan bahan (Wu *et al*, 2007).

- **Analisa FTIR**

FTIR merupakan singkatan dari Fourier Transform Infrared Spectroscopy, dimana FTIR ini merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari adsorbansi, emisi, fotokonduktifitas atau raman-scattering dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan adsorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati, 2010)

Spectroscopy FTIR menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensikan oleh radiasi infra merah agar sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh (Giwangkara, 2006). Prinsip kerja FTIR berupa infrared yang melewati celah ke sampel dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan pada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer. Prinsip kerja spectroscopy FIR adalah adanya interaksi energi dengan materi.

- **Analisa Spektrofotometer UV-VIS**

Spektrofotometri adalah suatu metode analisis yang berdasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang yang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi

difraksi dan detector vacuum phototube atau tabung foton hampa. Alat yang digunakan adalah spektrofotometer, yaitu suatu alat yang digunakan untuk menentukan suatu senyawa baik secara kuantitatif maupun kualitatif dengan mengukur transmittansi ataupun absorbansi suatu sampel sebagai fungsi dari konsentrasi. Spektrometer menghasilkan sinar dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan (Harjadi, 1990).

Prinsip kerja spektrofotometri berdasarkan hukum Lambert-Beer, bila cahaya monokromatik (I_0) melalui suatu media (larutan), maka sebagian cahaya tersebut akan diserap (I_a), sebagian dipantulkan (I_r), dan sebagian lagi diteruskan (I_t) (Harjadi, 1990).

Panjang gelombang yang digunakan umumnya berupa cahaya tampak (*visible light*) dan sinar *ultra violet* (UV) atau biasa disebut UV-Vis. Spektrofotometri UV-Vis biasanya digunakan untuk molekul dan ion anorganik atau kompleks di dalam larutan. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm, sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm. Panjang gelombang (λ) adalah jarak antara satu lembah dan satu puncak gelombang, sedangkan frekuensi (f) adalah kecepatan cahaya dibagi dengan panjang gelombang. Bilangan gelombang adalah (ν) adalah satu satuan per panjang gelombang. (Dachriyanus, 2004).

II.10 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya

II.10.1

Pelet Selulosa Sebagai Adsorben Jenis Baru Untuk Penyisihan Pewarna dari Larutan *Aqueous* oleh Daniela Suteu, Gabriela Biliuta, Lacramioara Rusu, Sergiu Coseri, Gabriela Nacu. Tahun 2015

Suteu dkk (2015) melakukan penelitian pengaruh *cellulose bead* (cellets 200 dan cellet 350) dari *microcrystalline cellulose* (MCC) terhadap sifat struktural dan daya serap sebagai adsorbent

untuk menghilangkan zat warna reaktif brilliant red HE-3B dan pewarna kationik larutan metilen biru. Hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa struktur *cellulose beads* terdiri dari spheroids ukuran kecil dengan kisaran 200-350 μm untuk cellets 200 dan kisaran 350-500 μm untuk cellets 350. Pengaruh PH larutan bergantung pada muatan permukaan pada *cellulose beads* sebagai adsorbent, ketika permukaan *cellulose bead* positif maka mampu mengikat zat warna anionik yaitu brilliant red HE-3B, tetapi ketika permukaan *cellulose bead* negatif tidak mampu mengikat zat warna anionik melainkan mampu mengikat zat warna kationik yaitu metilen biru. Adsorpsi kedua Brilliant Red HE-3B pewarna reaktif dan *Methylene Blue* kationik pewarna dari larutan encer ke mikrokristalin selulosa adalah diteliti sebagai fungsi dari pH solusi awal, dosis selulosa, konsentrasi zat warna, suhu, struktur pewarna dan jenis selulosa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi tergantung pada struktur pewarna (berat molekul) dan selulosa Jenis (distribusi ukuran pori). Selain itu, meningkatkan kapasitas adsorpsi dengan peningkatan konsentrasi, dosis adsorben, waktu kontak dan menurun dengan meningkatnya suhu. Inisial solusi pH merupakan faktor penting dan seleksi dari nilai optimum tergantung pada jenis pewarna : anionik atau kationik. Serapan pewarna telah meningkat dari 2,35 mg / g menjadi 4,455 mg / g saat konsentrasi awal pewarna meningkat dari 8 menjadi 100 mg / L. Pada saat bersamaan, peningkatan konsentrasi pewarna MB awal dari 13,6 mg / L menjadi 81,6 mg / L menyebabkan peningkatan kapasitas adsorpsi selulosa dari 6,49 mg / g menjadi 34,1 mg / g. Hasil mengarah pada kesimpulan bahwa selulosa mikrokristalin, cellets, dapat dianggap sebagai adsorben baru dan berharga untuk menghilangkan pewarna dengan berat molekul yang relatif rendah dari larutan air. Penelitian lebih lanjut harus dilakukan mengenai keseimbangan, termodinamika dan kinetika adsorpsi Proses untuk menentukan kuantitatif parameter karakteristik, efek termal.

II.10.2

Preparasi dan Karakterisasi Penambahan Komposit Poli (Asam Laktat) / Karbon Aktif dengan Metode *Phase Inversion* dan Penggunaannya sebagai Adsorben untuk Rhodamin B dalam Larutan *Aqueous* oleh Memoon Sattara, Fareeda Hayeeyea, Watchanida Chinpab, dan Orawan Sirichotea. Tahun 2017

Pembuatan bahan berpori yang menggunakan bahan biodegradable telah banyak menarik perhatian di bidang pengendalian pencemaran lingkungan. *Bead* adsorben yang tidak beracun, mudah digunakan dan murah dapat dibuat dari asam poli (asam laktat) (PLA) dan karbon aktif (AC) dengan menggunakan teknik *phase inversion*. Struktur berpori dari PLA/AC *beads* diamatin dengan *scanning electron microscopy* (SEM) dan metode desorpsi adsorpsi *removal* pewarna karsinogenik Rhodamin B dipelajari dengan metode *batch* ekuilibrium dan ditemukan bahwa kapasitas adsorpsi *monolayer* maksimum adalah 149,57 mg/g pada 60 °C, pada pH 4. Sebuah studi tentang adsorpsi kinetika menunjukkan bahwa molekul Rhodamine B menyebar dengan sangat cepat ke dalam pori-pori yang saling berhubungan dengan PLA/AC 5% berat. *Beads* dan sesuai dengan model difusi intrapartikel. Nilai negatif energi bebas Gibb menunjukkan proses adsorpsi terjadi secara spontan, dan perubahan entalpi sebesar 23,92 kJ/mol menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara endotermik. Studi desorpsi menunjukkan bahwa persentase Rhodamin B yang diserap mengalami peningkatan dengan penurunan pH. Hasilnya menunjukkan bahwa PLA/AC *beads* akan memberikan adsorben granular alternatif baru untuk menghilangkan zat warna kationik polutan dari air.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Rhodamine B dan dosis PLA/AC *beads* meningkatkan persentase Rhodamine B yang teradsorpsi ke PLA/AC *beads*. Efisiensi tertinggi adsorpsi Rhodamine B oleh *beads* adalah sekitar 89%. Sorpsi Rhodamine B oleh PLA/AC *beads* sesuai dengan model isoterm Langmuir dan nilai q_m yang teridentifikasi adalah

149,57 mg/g. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa luas permukaan PLA/AC *bead* semakin meningkat dengan meningkatnya komposisi PLA. Begitupula kapasitas adsorpsi Rhodamin B oleh PLA/AC *bead*, semakin meningkat dengan meningkatnya komposisi PLA.

II.10.3

Komposit menyerupai kertas dari selulosa asetat-organo-montmorilonit untuk menghilangkan zat warna anionik berbahaya dalam air oleh Chun-Hui Zhou, Di Zhang, Dong-Shen Tong, Lin-Mei Wu, Wei-Hua Yu, Suryadi Ismadji. Tahun 2012

Persiapan dan pembentukan komposit anorganik-organik dari molekul selulosa asetat dan organo-montmorilonit (OMMT) menghasilkan material baru menyerupai kertas. Secara khusus, material yang dihasilkan dapat digunakan sebagai adsorben fungsional untuk menyerap polutan organik dalam air limbah, dengan manfaat dalam aspek pengoperasian dan pemisahan yang mudah. Untuk fabrikasi komposit tersebut, OMMT pertama perlu disintesis melalui pertukaran ion kation *ammonium cetyltrimethyl* dengan kation Na^+ di ruang interlayer montmorilon murni, diikuti oleh dispersi CA dan OMMT pada aseton. Kemudian campuran tersebut mengalami proses *self-assembly* melalui penguapan aseton secara bertahap, yang menghasilkan pembentukan komposit selulosa asetat dan organo-montmorilonit seperti kertas.

Karakterisasi komposit dengan analisis XRD, FTIR, SEM, dan TG menunjukkan bahwa terdapat beberapa interaksi antara molekul CA dan OMMT. Termasuk interaksi silang antara trombosit OMMT dan rantai CA, intermolekuler dan intramolekuler; agregasi platelet tanah liat dan interkalasi bagian CA dalam layer OMMT. Komposit kertas padat atau makroporous dapat dibuat bergantung pada rasio CA terhadap OMMT,

Komposit CA/OMMT menyerupai kertas *macroporous* menunjukkan kapasitas yang luar biasa untuk adsorpsi pewarna

anionik *Acid Scarlet G* dari larutan berair. Komponen OMMT memainkan peran dominan dalam adsorpsi. Dengan demikian, ketika kandungan OMMT dalam komposit CA/OMMT meningkat dari 10% berat sampai 60% berat, kapasitas adsorpsi ASG ke CA/OMMT meningkat dari 3,1 mg/g menjadi 85,7 mg/g. Nilai pH larutan zat warna, suhu adsorpsi, dan konsentrasi zat warna awal berpengaruh pada jumlah adsorpsi ASG ke CA/OMMT. Serangkaian pengukuran pada ASG ke komposit CA/OMMT 60% menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi ASG pada komposit CA/OMMT mematuhi *pseudo-first-order* Lagergren. Adsorpsi ASG ke komposit CA/OMMT 60% adalah proses spontan dan endotermik dan isoterm adsorpsi ASG dapat digambarkan oleh persamaan Langmuir. Komposit menyerupai kertas dari mineral alam dan bioresources bersifat ramah lingkungan. Seperti yang ditunjukkan dalam penelitian ini, komposit tersebut memiliki kapasitas adsorpsi dari spesies organik, dengan kelebihan pengoperasian dan pemisahan yang lebih mudah.

II.10.4

Sintesa dan Karakterisasi *Biokomposit Poly(L-Lactid Acid)/Cellulose Acetate Bead* sebagai *Biodegradable* Adsorben oleh Nugrahaning Dwi Prastiwi, Eko Vindy Utami. Tahun 2016

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh perubahan perbandingan berat antara *PLLA* dan *CA* terhadap properties biokomposit *PLLA/CA film*, serta properties dan kinerja adsorpsi dari *PLLA/CA beads*, dan mempelajari pengaruh perubahan pH larutan metilen biru terhadap kinerja adsorpsi dari *PLLA/CA beads*. Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahap pertama adalah tahap sintesa film, dimana *PLLA* dilarutkan dalam kloroform sedangkan *CA* dilarutkan dalam aseton yang kemudian keduanya dicampur dan diaduk hingga menjadi larutan homogen, kemudian larutan homogen dicetak menjadi film pada *petridish*. Untuk tahap kedua adalah tahap pembuatan *PLLA/CA Beads*, dimulai dari *PLLA*

dilarutkan dalam kloroform sedangkan CA dilarutkan dalam aseton dan DMSO yang kemudian keduanya dicampur dan diaduk hingga menjadi larutan homogen. Setelah terbentuk larutan homogen PLLA/CA, larutan disuntikkan kedalam bath koagulasi untuk membentuk *beads* yang kemudian direndam dalam larutan NaOH setelah itu itu dioven pada suhu 45°C selama 24 jam. Sedangkan untuk uji yang harus dilakukan, yaitu uji *thermal stability PLLA/CA film* dengan menggunakan TGA dan untuk *mechanical property PLLA/CA film* dengan DMA, dan morphology dengan SEM. Untuk PLLA/CA Beads dilakukan uji *morphology* yaitu SEM, untuk menganalisa *surface area* dengan BET dan terakhir adalah uji adsorpsi dimana *Methylene Blue* digunakan sebagai bahan yang diserap (adsorbat) yang konsentrasinya diukur dengan spektrofotometri UV-VIS. Pengaruh perubahan perbandingan berat PLLA/CA Film yaitu, semakin banyak CA yang ditambahkan semakin nilai tensile strength dan elongation at break semakin menurun, tetapi nilai modulus young meningkat, dan semakin tinggi suhu yang diperlukan untuk terdegradasi. Sedangkan pada PLLA/CA Beads kinerja proses adsorpsi semakin meningkat dengan penambahan material PLLA dalam PLLA/CA Beads. Nilai % Removal pada pH netral lebih besar dibandingkan % removal pada pH basa dan pH asam, yaitu sebesar 61,399%. Biokomposit PLLA/CA 25/75 pada pH netral memiliki %removal terbesar yaitu sebesar 61,399%

II.10.5

Pembuatan Biokomposit *Cellulose Acetate/Poly(L-Lactic Acid) Bead*: Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Rasio Berat *Cellulose Acetate/Poly(L-Lactic Acid)* oleh Gilmar Wicaksono dan Fiky Prima Utama. Tahun 2017

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh perubahan perbandingan berat dan konsentrasi larutan antara CA dan PLLA terhadap properti dan karakteristik biokomposit CA/PLLA, serta properti dan kinerja adsorpsi dari CA/PLLA

beads, dan mempelajari pengaruh perubahan waktu larutan metilen biru terhadap kinerja adsorpsi dari CA/PLLA *beads*. Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini, dimulai dari CA dan PLLA dilarutkanii dalam pelarut yang sesuai yang kemudian keduanya dicampur dan diaduk hingga menjadi larutan homogen, larutan homogen CA/PPLA disuntikkan kedalam bath koagulasi untuk membentuk *beads* yang kemudian dikeringkan. Sedangkan untuk uji yang harus dilakukan yaitu analisa morphology yaitu SEM, uji *thermal stability* CA/PLLA *beads* menggunakan uji TGA, uji DSC yang menganalisa tentang *thermal properties bead* dan terakhir adalah uji adsorpsi dengan spektrofotometri UV-VIS. Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil untuk CA/PLLA *beads* bahwa semakin banyak PLLA yang ditambahkan akan semakin kecil diameter *beads*, fenomena ini terjadi pada kedua variable konsentrasi larutan yaitu 10% dan 15%. Dan untuk uji TGA didapatkan hasil semakin banyak PLLA yang ditambahkan akan semakin rendah suhu yang diperlukan untuk terdegradasi. Dengan waktu pengamatan 36 jam perendaman *beads* didapatkan persen removal biokomposit CA/PLLA 60/40 dengan variabel 10% wt sebesar 45,80 % dan variable 15% wt sebesar 43,68%

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan sintesis biokomposit CA/PLLA dengan metode *solvent blending* dengan kloroform sebagai pelarut PLLA dan campuran aseton dan DMSO sebagai pelarut CA. Sedangkan Sintesis kopolimer PLLA-g-MA menggunakan teknik grafting. Sintesis biokomposit CA/(PLLA/PLLA-g-MA) juga menggunakan metode *solvent blending* dengan kloroform sebagai pelarut PLLA-g-MA dan campuran aseton dan DMSO sebagai pelarut CA. Pembentukan biokomposit *beads* menggunakan Teknik *dropping* dimana larutan diteteskan menggunakan jarum suntik ke permukaan bath koagulasi yang berisi *nonsolvent* berupa *aquadest*. *Beads* yang terbentuk kemudian direndam dalam larutan NaOH, dicuci dengan *aquadest*, lalu dioven pada suhu 70°C selama 24 jam.

Pengujian yang dilakukan adalah uji adsorpsi equilibrium secara *batch* dengan *dye* berupa *Methylene Blue* (MB) sebagai bahan yang diserap (adsorbat) yang perubahan konsentrasi setelah adsorpsi diukur dengan spektrofotometri UV-VIS. Proses adsorpsi dilakukan dalam kondisi gelap untuk menghindari efek fotodegradasi MB. Diberlakukan variasi pH dan suhu larutan MB untuk mendapatkan kondisi operasi proses adsorpsi yang optimal. Variasi pH yang digunakan adalah pada pH 3, 7, dan 11. sedangkan variasi suhu yang digunakan adalah 30 °C dan 50 °C. Setelah didapatkan pH dan suhu optimum untuk proses adsorpsi, dilakukan pengujian karakteristik adsorpsi biokomposit *bead* dengan melakukan variasi dosis *bead* (adsorban) dan konsentrasi awal *dye* (adsorbat). Karakteristik biokomposit CA/PLLA dan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) sebelum dan setelah proses adsorpsi diamati dengan uji SEM untuk mengamati morfologi biokomposit *beads* dan uji FTIR untuk mengamati gugus fungsi dari biokomposit *beads*.

III.1 Bahan Yang Digunakan

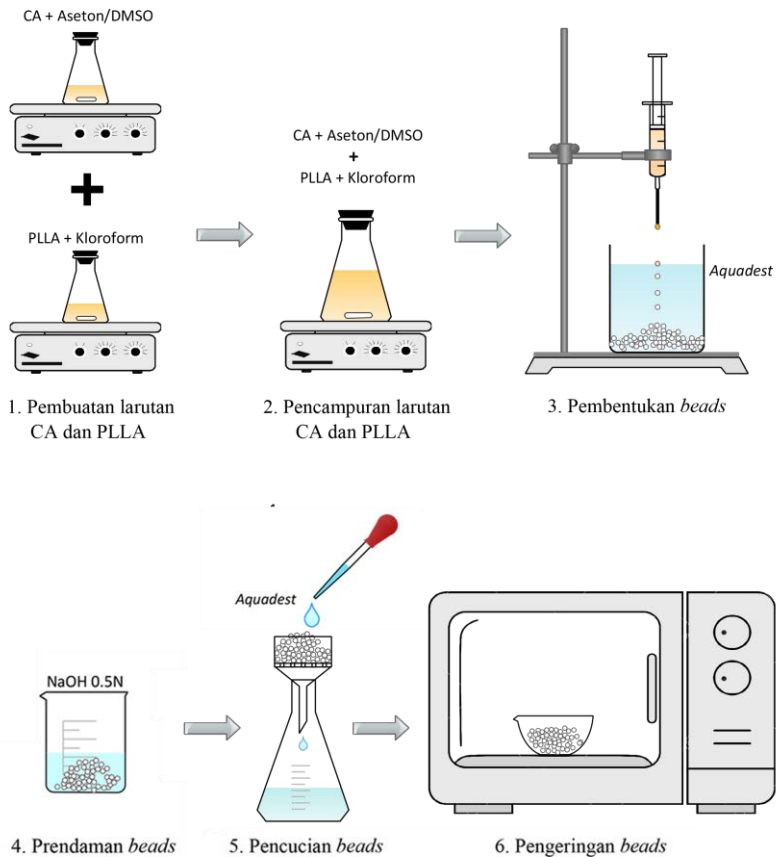
Bahan-bahan yang digunakan antara lain :

1. *Cellulose Acetate* (CA)
2. *Poly (L-Lactic Acid)* (PLLA)
3. Kloroform
4. Aseton
5. *Dimethyl Sufoxide* (DMSO)
6. *Maleic Anhydride* (MA)
7. *Benzoyl Peroxide*
8. *Toluene*
9. *Methylene Blue* (MB)
10. *NaOH* 1 N
11. *HCl* 0,1 N
12. *Aquadest*

III.2 Skema Penelitian

III.2.1 Skema Persiapan *Beads*

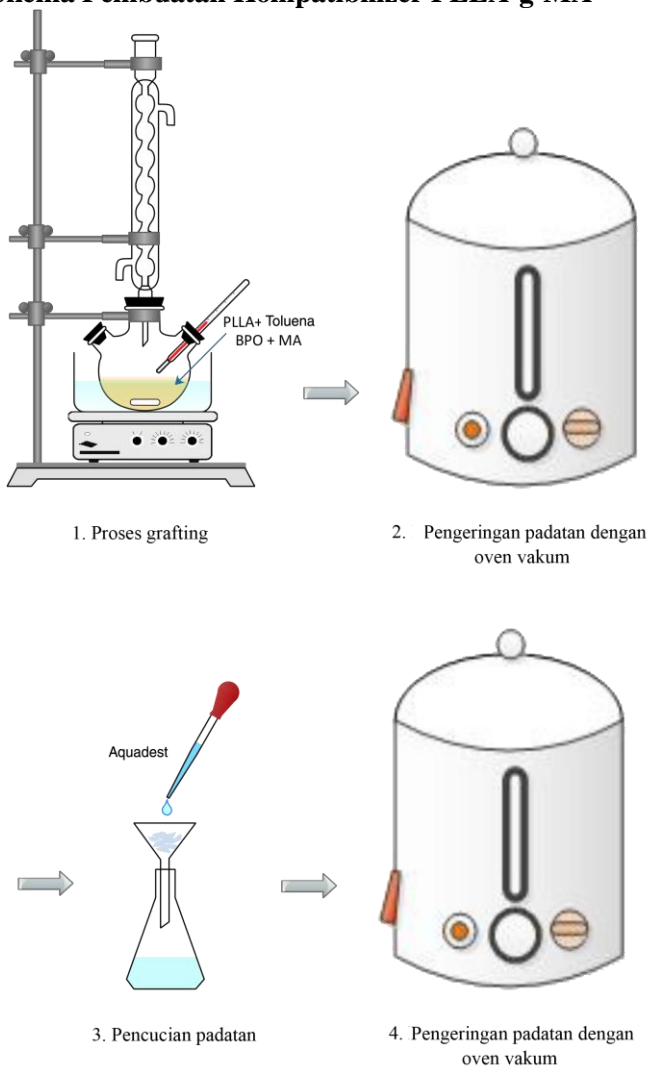
III.2.1.1 Skema Pembuatan CA/PLLA *Beads*



Gambar III.1 Skema Proses Pembentukan CA/PLLA *Beads*

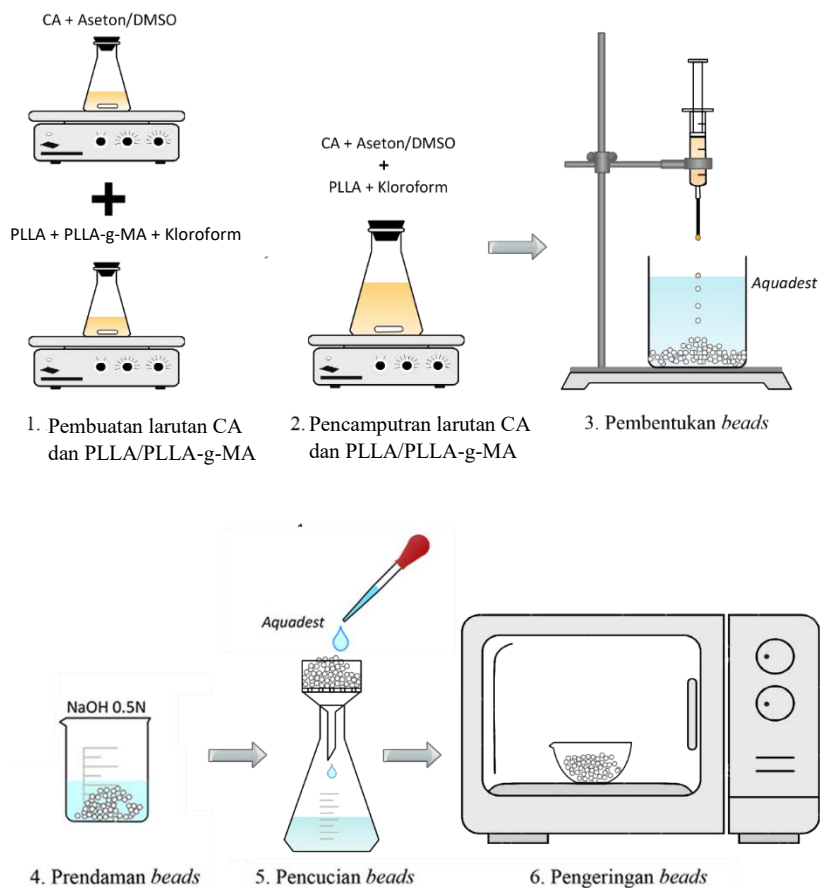
III.2.1.2 Skema Pembuatan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) Beads

A. Skema Pembuatan Kompatibilizer PLLA-g-MA



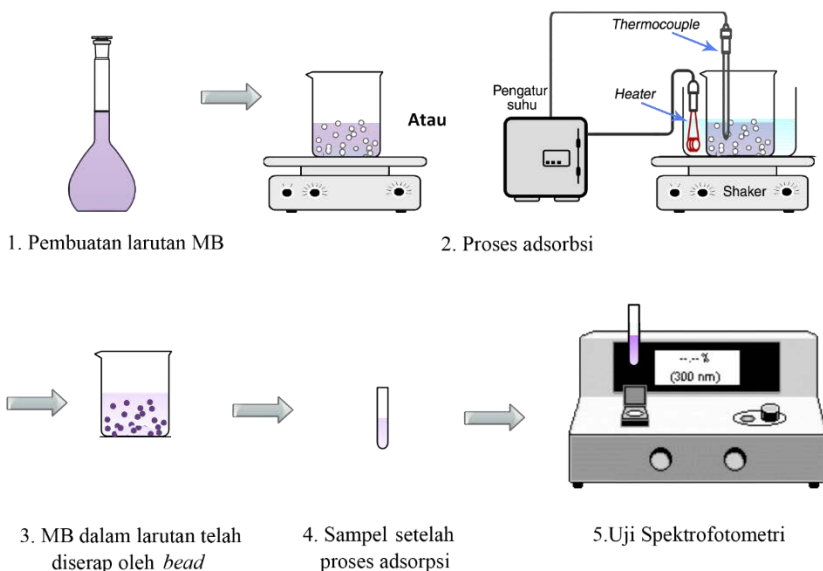
Gambar III.2 Skema Alat Pembuatan PLLA-g-MA

B. Skema Pembuatan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) Beads



Gambar III.3 Skema Alat Pembuatan CA/(PLLA/ PLLA-g-MA) Beads

III.2.2 Skema Proses Uji Adsorpsi



Gambar III.4 Skema Alat Pembuatan *beads* PLLA-g-MA/CA

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Persiapan Bead

III.3.1.1 Pembuatan CA/PLLA Beads

1. CA dicampur dengan pelarut aseton dan DMSO dengan perbandingan 60% : 40%, diaduk pada kecepatan 200 rpm dan suhu 50 °C hingga homogen.
2. PLLA dicampur dengan pelarut kloroform dan diaduk pada kecepatan 200 rpm dan suhu 50 °C hingga homogen.
3. Setelah PLLA larut, ditambahkan larutan CA yang kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 50 °C selama 24 jam menggunakan *hotplate* hingga menjadi larutan homogen.

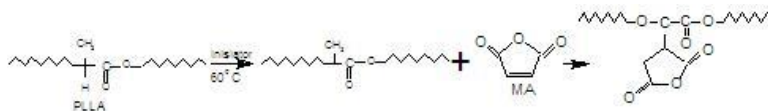
4. Setelah terbentuk larutan homogen *CA/PLLA*, larutan dimasukkan kedalam *syringe*.
5. Larutan homogen *CA/PLLA* disuntikkan ke dalam bath koagulasi pada suhu ruang, dimana jarak antara ujung suntikan dengan bath koagulasi dipertahankan pada 2cm untuk mendapatkan ukuran beads yang seragam.
6. Kemudian *CA/PLLA beads* yang telah terbentuk direndam dalam larutan NaOH sehari semalam untuk menghilangkan kandungan *acetate*.
7. Selanjutnya *CA/PLLA beads* dicuci beberapakali dengan menggunakan *aquadest* hingga didapatkan pH netral. Kemudian dikeringkan.
8. *CA/PLLAbeads* dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C selama 24 jam.

III.3.1.2 Pembuatan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) Beads

A. Pembuatan PLLA-g-MA

1. PLLA sebanyak 5 gr dilarutkan dengan 30 ml *xylene* pada suhu 60°C dalam labu leher tiga.
2. *Benzoyl Peroxide* sebanyak 0,2 gr ditambahkan kedalam campuran.
3. MA sebanyak 1 gr ditambahkan ke dalam larutan PLLA dalam labu leher tiga.
4. Campuran diaduk dengan kecepatan 200 rpm pada suhu 60°C selama 6 jam.
5. Kopolimer PLLA-g-MA diekstrak 5 kali dengan 300 ml aseton, padatan yang terbentuk disaring dengan kain saring.
6. Padatan dicuci dengan aseton untuk menghilangkan MA yang tidak tergrafting.
7. Padatan dikeringkan dengan oven vakum pada suhu 80°C selama 6 jam untuk menghilangkan solvent yang masih menempel pada padatan.

Reaksi yang diharapkan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar III.3 Reaksi grafting MA ke PLLA membentuk kopolimer PLLA-g-MA

B. Pembuatan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) Beads

1. PLLA-g-MA dicampur dengan pelarut kloroform dan diaduk pada kecepatan 200 rpm dan suhu 50 °C hingga homogen.
2. CA dicampur dengan pelarut aseton dan DMSO dengan perbandingan 60% : 40%, diaduk pada kecepatan 200 rpm dan suhu 50 °C hingga homogen.
3. Setelah PLLA-g-MA larut, ditambahkan larutan CA yang kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 50 °C selama 24 jam menggunakan hotplate hingga menjadi larutan homogen.
4. Setelah terbentuk larutan homogen PLLA-g-MA/CA, larutan dimasukkan kedalam suntikan.
5. Larutan homogen CA/(PLLA/PLLA-g-MA) disuntikkan ke dalam bath koagulasi pada suhu ruang, dimana jarak antara ujung suntikan dengan bath koagulasi dipertahankan pada 2cm untuk mendapatkan ukuran beads yang seragam.
6. Kemudian CA/(PLLA/PLLA-g-MA)beads yang telah terbentuk direndam dalam larutan NaOH sehari semalam untuk menghilangkan kandungan *acetate*.
7. Selanjutnya CA/(PLLA/PLLA-g-MA)beads dicuci beberapa kali dengan menggunakan *aquadest* hingga didapatkan pH netral. Kemudian dikeringkan
8. CA/PLLA beads dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70°C selama 24 jam

III.3.2 Uji Adsorpsi

Pengujian pH optimum untuk proses adsorpsi dilakukan dengan cara:

1. Membuat larutan *dye* (*methylene blue*) dengan konsentrasi 20 mg/L
2. Mengatur pH larutan *dye* sesuai dengan variabel dengan menggunakan larutan HCl 0,1 N dan NaOH 1 N
3. Merendam *CA/PLLA Beads* dengan dosis 2 g/L ke dalam 50 mL larutan *dye*
4. Perendaman *CA/PLLA Beads* dilakukan dengan pengocokan menggunakan *orbital shaker* selama 32 jam.
5. Setelah proses adsorpsi, konsentrasi akhir larutan *dye* dianalisa dengan spektrofotometri

Uji spektrofotometri dilakukan di Laboratorium Teknologi Air dan Konsultasi Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS. Dari pengujian diatas, akan didapat komposisi biokomposit terbaik dan kondisi operasi optimumnya. Selanjutnya pengujian suhu optimum untuk proses adsorpsi yang dilakukan dengan cara mengulangi langkah-langkah diatas dengan menjaga suhu larutan *dye* dengan *water bath* sesuai dengan variabel yang ditentukan. Pengujian karakteristik adsorpsi biokomposit *bead* dilakukan dengan cara mengulangi langkah-langkah diatas dengan melakukan variasi dosis *bead* (adsorban) dan konsentrasi *dye* (adsorbat).

III.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Konsentrasi biokomposit dalam solvent pada proses sintesis biokomposit *beads* sebesar 10% dan 15%
- Perbandingan berat *filler* dan matriks biokomposit:
- CA/PLLA: 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 100/0
- CA/(PLLA/PLLA-g-MA): 60/40, 70/30, 80/20, 90/10, 100/0
- pH larutan *dye* untuk proses adsorpsi adalah 3, 7, dan 11
- Suhu larutan *dye* untuk proses adsorpsi adalah 30°C dan 50°C

- Dosis *beads* (adsorban)
- Konsentrasi *dye* (adsorbat)

III.5 Analisa Hasil Penelitian

Analisa yang dilakukan terhadap hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

III.5.1 Karakterisasi Analisa Gugus Fungsi (FTIR)

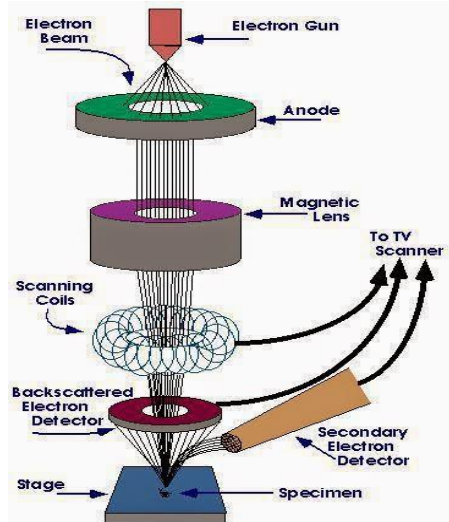
Spektroskopi FTIR (Fourier Transform Infra Red) merupakan karakterisasi sampel yang bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu.

III.5.2 Uji morfologi bead (SEM)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa. Prinsip SEM yaitu menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energy yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Electron berinteraksi dengan atom – atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Langkah persiapan sampel untuk SEM adalah sebagai berikut:

1. Sampel diletakkan di atas specimen holder dimasukkan kedalam specimen chamber
2. Sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area
3. Sinar electron yang dihasilkan dari area gun dialirkan hingga mengenai sampel
4. Aliran sinar electron selanjutnya di fokuskan menggunakan *electron optic columb* sebelum sinar electron tersebut membentuk atau mengenai sampel

5. Setelah sinar mengenai sampel, akan terjadi interaksi-interaksi pada sampel yang disinari.
6. Selanjutnya akan dideteksi dan diubah ke dalam sebuah gambar oleh analisis SEM



Gambar III.4 Skematis Sistem Kerja SEM

Uji Adsorpsi Bead (Spektrofotometri UV-VIS)

Setelah proses adsorpsi, larutan *dye* dianalisa dengan metode Spektrofotometri UV/VIS untuk menganalisa konsentrasi *dye* yang tersisa. Sehingga dapat dihitung konsentrasi *dye* yang terserap.

Menghitung q (*Adsorpsi Capacities*) dan $\% R$ (*% removal*)

$$q = \frac{C_0 - C}{G} \times V$$

$$\% R = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0}$$

Dimana :

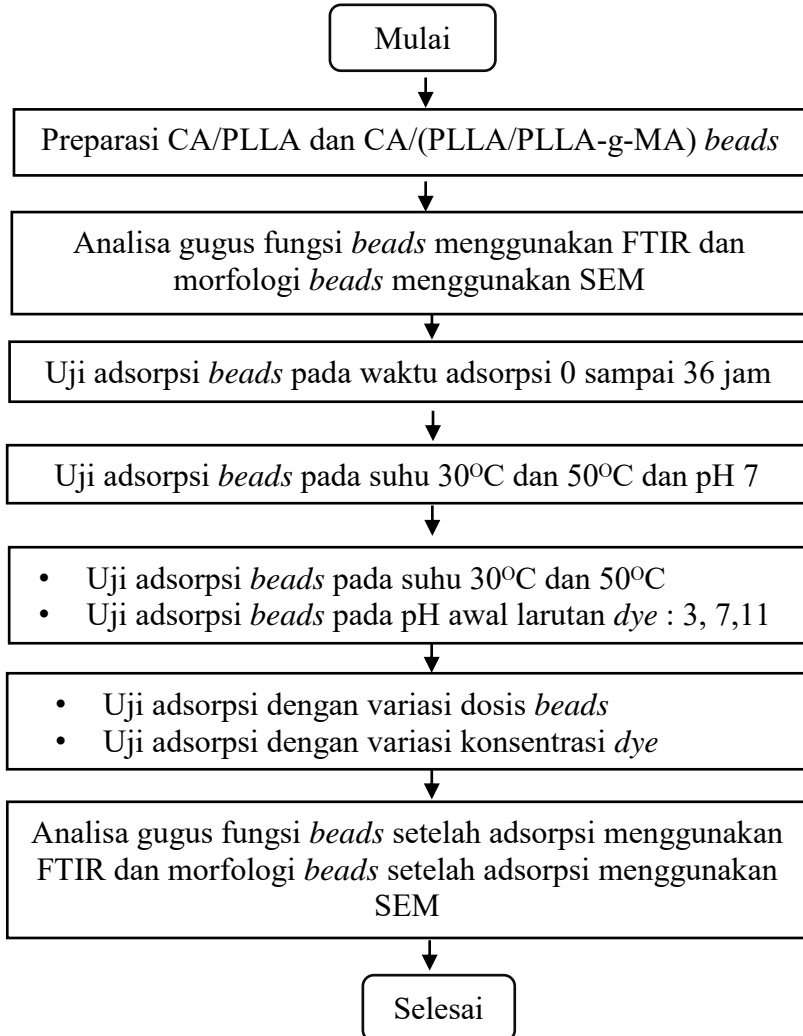
C = Konsentrasi akhir zat warna dalam larutan (mg/L)

C_0 = Konsentrasi awal zat warna dalam larutan (mg/L)

G = Berat CA/PLLA (g)

V = Volume larutan (L)

III.6 Blok Diagram Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

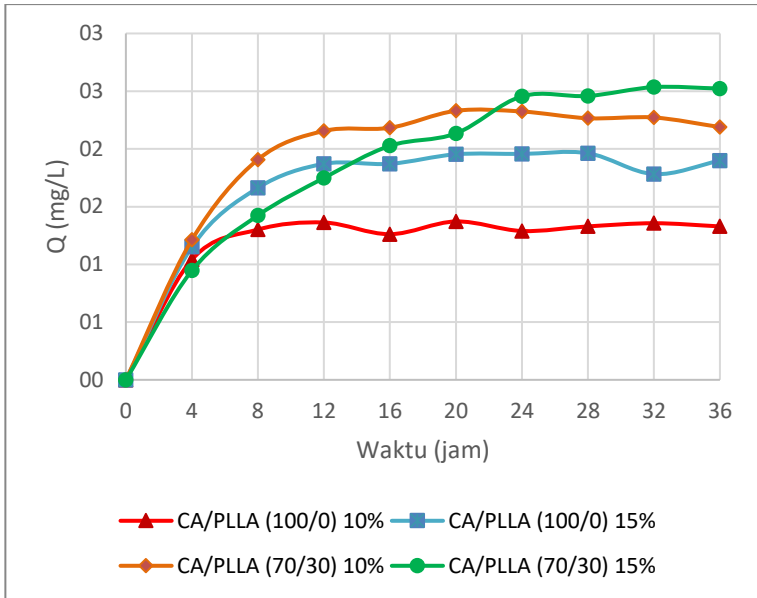
Sintesis *beads* berbasis selulosa telah dilakukan pada berbagai variabel komposisi *beads*. Penambahan *Poly (L-Lactid Acid) (PLLA)* yang merupakan biodegradable polimer yang mempunyai sifat mekanik yang bagus diharapkan dapat membentuk biokomposit yang mempunyai sifat unggul dan kinerja yang baik pada kinerja adsorpsi zat warna methylene blue. Dilakukan pula modifikasi PLLA dengan MA dengan metode grafting. Selanjutnya hasil grafting PLLA-g-MA dicampurkan pada PLLA dengan rasio 1:9 yang bertujuan untuk meningkatkan kompatibilitas antara PLLA dan CA sehingga menghasilkan *beads* yang mempunyai sifat adsorpsi yang baik. Variabel komposisi *beads* antara lain ; CA/PLLA 10% berat dengan rasio 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 dan 60/40 ; CA/PLLA 15% berat dengan rasio 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 dan 60/40 ; CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10% berat dengan rasio 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 dan 60/40 ; serta CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 15% berat dengan rasio 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 dan 60/40. Sintesis berhasil dilakukan pada semua variabel kecuali pada rasio 60/40. Pada variabel dengan rasio 60/40, *beads* yang terbentuk tidak bisa berbentuk bola dan ketika proses *dropping*, *beads* tidak bisa mengeras. Hal ini dapat disebabkan karena komposisi PLLA terlalu besar. Adapun *beads* 60/40 yang bisa terbentuk hanya pada variabel CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 15%. *Beads* yang telah terbentuk digunakan sebagai adsorben pada uji adsorpsi equilibrium secara *batch* pada *methylene blue* dalam aquadest dengan volume larutan 50 mL. Seluruh proses adsorpsi dilakukan dalam tempat yang gelap agar larutan adsorbat MB tidak terpengaruh dengan fotodegradasi *methylene blue* oleh cahaya. Larutan hasil adsorpsi dianalisa secara spektrofotometri dengan spektrofotometer GENESYS 10S pada panjang gelombang antara 666 nm.

IV.1 Pengaruh Waktu dan Studi Kinetika Adsorpsi

Adsorpsi dilakukan pada pH 7 dan suhu 30°C dari 0 sampai dengan 36 jam dengan rentang waktu 4 jam. Dosis *beads* yang digunakan adalah 2 mg/L, konsentrasi larutan *aqueous* MB sebesar 20 mg/L dengan volume larutan 50 mL. Tabel IV.1 memperlihatkan hasil adsorpsi dari CA/PLLA *beads* pada larutan zat warna MB pada waktu 0 jam sampai 36 jam.

Tabel IV.1 Kapasitas adsorpsi MB oleh CA/PLLA *beads* pada berbagai waktu dengan Co=20 mg/L, G=2g/L, T=30°C, dan pH=7

. T (jam)	Q (mg/g)			
	CA/PLLA (100/0) 10%	CA/PLLA (100/0) 15%	CA/PLLA (70/30) 10%	CA/PLLA (70/30) 15%
0	0	0	0	0
4	1,04	1,15	1,21	0,95
8	1,30	1,66	1,91	1,42
12	1,36	1,87	2,16	1,75
16	1,26	1,87	2,18	2,03
20	1,37	1,95	2,33	2,13
24	1,29	1,96	2,32	2,46
28	1,33	1,96	2,27	2,46
32	1,36	1,78	2,27	2,54
36	1,33	1,90	2,19	2,52
40	-	-	-	2,44
44	-	-	-	2,48



Gambar IV.1 Kapasitas adsorpsi MB oleh CA/PLLA *beads* pada berbagai waktu dengan $C_0=20$ mg/L, $G=2$ g/L, $T=30^\circ\text{C}$, dan $\text{pH}=7$

Secara umum, semakin lama waktu kontak CA/PLLA *beads* dengan larutan zat warna methylene blue, daya serap *beads* semakin besar. Pada Gambar IV.1 terlihat terjadi peningkatan daya serap yang signifikan pada awal adsorpsi dimana masih terdapat banyak permukaan adsorban yang dapat menyerap MB. Kenaikan kapasitas adsorpsi kemudian menjadi tidak signifikan ketika proses adsorpsi sudah mendekati titik equilibrium dimana laju adsorpsi dan desorpsi oleh *beads* setara. Peningkatan daya serap mulai tidak signifikan setelah 8 jam pada *beads* CA/PLLA (100/0) 10%, setelah 12 jam pada *beads* CA/PLLA (100/0) 15%, 20 jam pada *beads* CA/PLLA (70/30) 10%, dan pada 24 jam pada *beads* CA/PLLA (70/30) 15%.

Hasil diatas digunakan seagai acuan waktu yang akan digunakan untuk studi adsorpsi equilibrium selanjutnya untuk mempelajari efek komposisi CA/PLLA *beads*, pH, suhu,

konsentrasi larutan zat warna, dan dosis *beads* terhadap kinerja adsorpsi *beads* terhadap larutan zat warna methylene blue. Waktu adsorpsi yang selanjutnya akan digunakan pada penelitian ini adalah 32 jam, dimana kenaikan kapasitas adsorpsi MB oleh seluruh *beads* sudah tidak signifikan.

Plot data kapasitas adsorpsi vs waktu dapat digunakan pula untuk memprediksi model kinetika adsorpsi *beads*. Studi kinetika adsorpsi dibutuhkan untuk desain dan *scale-up* sebuah sistem adsorpsi. Terdapat berbagai model yang telah diajukan untuk memprediksi laju penyerapan adsorbat ke dalam adsorban. Pseudo-first-order (PFO) dan pseudo-second-order (PSO) merupakan model kinetika yang paling banyak digunakan untuk menggambarkan kinetika adsorpsi zat pada larutan. Elovich equation yang mengabaikan desorpsi dapat menggambarkan adsorpsi kimiaawi dengan baik. Pada penelitian ini dilakukan studi kinetika adsorpsi CA dan CA/PLLA *beads* pada model PSO, PFO, dan Elovich equation. Persamaan untuk model kinetika yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel IV.2

Tabel IV.2 Persamaan kinetika adsorpsi MB oleh CA/PLLA *beads*

Model kinetika	Persamaan	Bentuk integrasi
<i>Pseudo-first-order</i>	$\frac{dq}{dt} = k_1 (Q_e - Q)$	$Q = Q_e (1 - e^{-k_1 t})$
<i>Pseudo-second-order</i>	$\frac{dq}{dt} = k_2 (Q_e - Q)^2$	$Q = \frac{k_2 Q_e^2 t}{(1 + k_2 Q_e t)}$
<i>Elovich equation</i>	$\frac{dq}{dt} = a e^{-b Q}$	$Q = \frac{\ln(1 + a b t)}{B}$

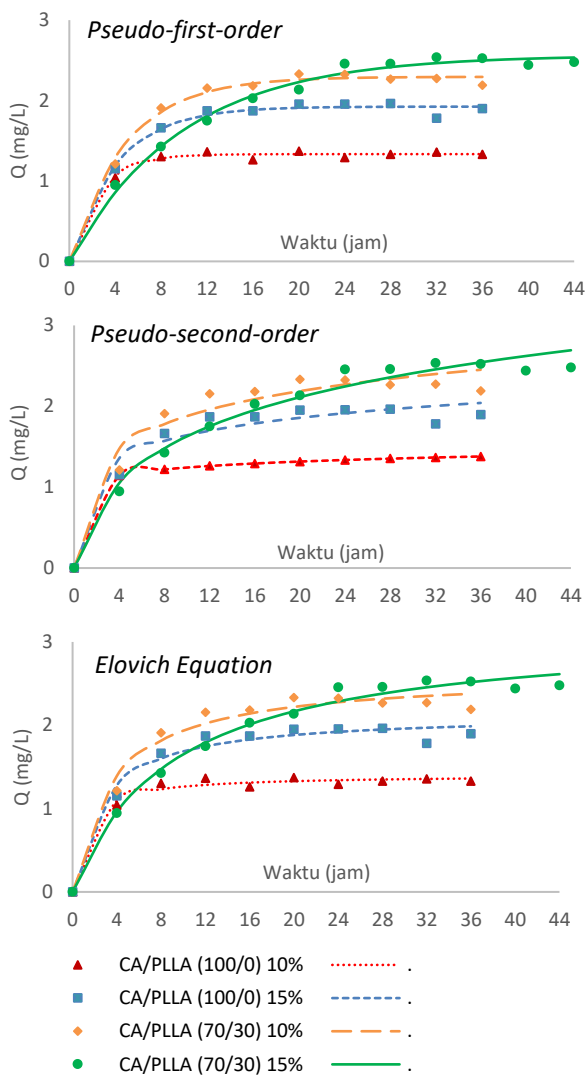
Untuk mendapat parameter kinetika adsorpsi, dilakukan plot persamaan pada masing-masing model hingga membentuk kurva yang dapat menggambarkan data penelitian dengan baik (curve fitting). Kesesuaian model kinetika dan parameternya dapat dilihat dengan coefficient of determination (R^2) yang dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - \overline{Q_{exp}})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{cal} - \overline{Q_{exp}})^2 + \sum_{i=1}^n (Q_{cal} - Q_{exp})^2}$$

Parameter kinetika dan kurva yang didapat dari curve fitting dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.2

Tabel IV.3 Parameter kinetika adsorpsi MB oleh CA/PLLA *beads* dengan Co=20 mg/L, G=2g/L, T=30°C, dan pH=7

Parameter kinetika	CA/PLLA (100/0) 10%	CA/PLLA (100/0) 15%	CA/PLLA (70/30) 10%	CA/PLLA (70/30) 15%
<i>Pseudo-first-order</i>				
qe (mg.g ⁻¹)	1,3338	1,9246	2,2952	2,5642
k ₁ (jam ⁻¹)	0,3911	0,2408	0,2067	0,1018
R ²	0,9928	0,9910	0,9936	0,9927
<i>Pseudo-second-order</i>				
qe (mg.g ⁻¹)	1,4031	2,1357	2,6086	3,1558
k ₂ (jam ⁻¹)	0,6390	0,1747	0,1096	0,0347
R ²	0,9857	0,9744	0,9756	0,9882
<i>Elovich equation</i>				
a	1177,818	5,8679	2,8340	0,5606
b	9,3431	3,1913	2,2121	1,2990
R ²	0,9768	0,9518	0,9513	0,9773



Gambar IV.2 Plot kurva kinetika adsorpsi MB oleh *beads* dengan $C_0=20$ mg/L, $G=2$ g/L, $T=30^\circ\text{C}$, dan $\text{pH}=7$

Berdasarkan koefisien korelasi (R^2) dari masing-masing model, didapatkan model *pseudo-first-order* oleh Lagergren paling sesuai dalam menggambarkan kinetika adsorpsi MB oleh CA dan CA/PLLA *beads*. Sedangkan model *pseudo-second-order* dan *elovich equation* kurang sesuai karena R^2 yang didapat masih dibawah 0,99. Rudzinski (1999), melaporkan bahwa kurang sesuai *elovich equation* dalam menggambarkan adsorpsi MB oleh CA dan CA/PLLA *beads* menunjukkan bahwa adsorpsi tersebut cenderung berupa *physisorption*, dimana adsorpsi hanya terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara adsorban dan adsorbat yang berupa gaya Van der Waal tanpa terbentuk ikatan kimiawi atau terjadi pertukaran ion. Namun masih diperlukan data isoterm adsorpsi untuk mendukung prediksi ini agar lebih akurat.

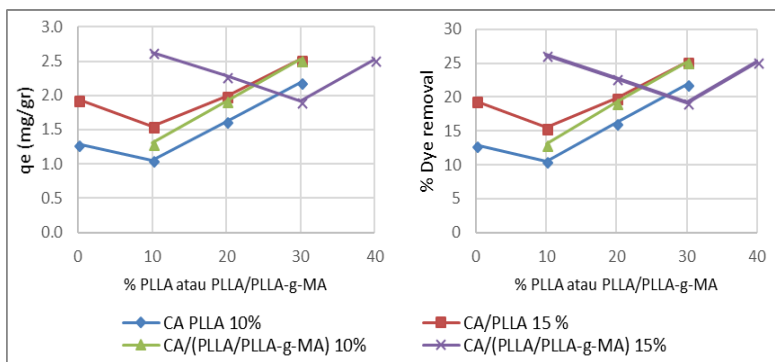
IV.2 Pengaruh Komposisi *Beads* Terhadap Adsorpsi MB

Telah dilakukan proses adsorpsi equilibrium pada larutan MB sebanyak 50 mL dengan konsentrasi 20 mg/L dan dosis *beads* 2 g/L. Proses adsorpsi dilakukan selama 32 jam pada pH 7 dan suhu 30 °C. Dari hasil yang didapat dapat ditentukan komposisi *beads* yang menunjukkan hasil adsorpsi terbaik. Hasil adsorpsi MB oleh *beads* dengan berbagai komposisi disajikan pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* dengan berbagai komposisi dengan Co=20 mg/L, G=2g/L, T=30°C, pH=7, dan t=32 jam

<i>Beads</i>	%PLLA atau PLLA/PLLA-g- MA	Qe (mg/g)	%R
CA PLLA 10%	0	1,29	12,92
	10	1,06	10,58
	20	1,63	16,25
	30	2,19	21,89
CA/PLLA 15 %	0	1,94	19,45
	10	1,55	15,49
	20	1,99	19,92
	30	2,52	25,23
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	1,31	13,07
	20	1,92	19,22
	30	2,52	25,24
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 15%	10	2,63	26,29
	20	2,28	22,82
	30	1,92	19,15
	40	2,53	25,27

Tabel IV.4 menunjukkan hasil adsorpsi terbaik diperoleh pada *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,63 mg MB per gram *beads* dan % *removal* (%R) MB sebesar 26,89 %. Pengaruh penambahan PLLA atau PLLA/PLA-g-MA pada *beads* dengan bahan baku CA terhadap kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* tersaji dalam Gambar IV.3



Gambar IV.3 Grafik kapasitas adsorpsi *beads* dan %removal MB dengan berbagai komposisi *beads* dengan $C_0=20$ mg/L, $G=2$ g/L, $T=30^\circ\text{C}$, $\text{pH}=7$, dan $t=32$ jam

Hasil yang diperoleh menggambarkan bahwa secara umum, semakin banyak komposisi PLLA atau PLLA/PLLA-g-MA yang ditambahkan pada CA *beads*, daya serap *beads* terhadap MB dan % removal MB dari larutan semakin besar. CA dalam bentuk kristal memiliki struktur yang berlapis-lapis. Petersson, 2006 melaporkan bahwa PLLA-g-MA dapat meningkatkan pengelupasan CA yang memiliki struktur berlapis-lapis tersebut. Fenomena tersebut dapat memperbaiki struktur biokomposit *beads* dengan memperbesar pori yang memudahkan difusi MB kedalam *beads* sehingga daya serap *beads* dan %R MB semakin meningkat.

Akan tetapi kecenderungan lain terjadi pada variabel *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 15% yang memiliki kapasitas adsorpsi lebih rendah. Hal ini dimungkinkan karena struktur pori-pori permukaan *beads* yang terlalu kecil sehingga menghambat difusi MB kedalam *beads*. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut seperti SEM dan BET untuk memverifikasi hasil adsorpsi CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 15% ini.

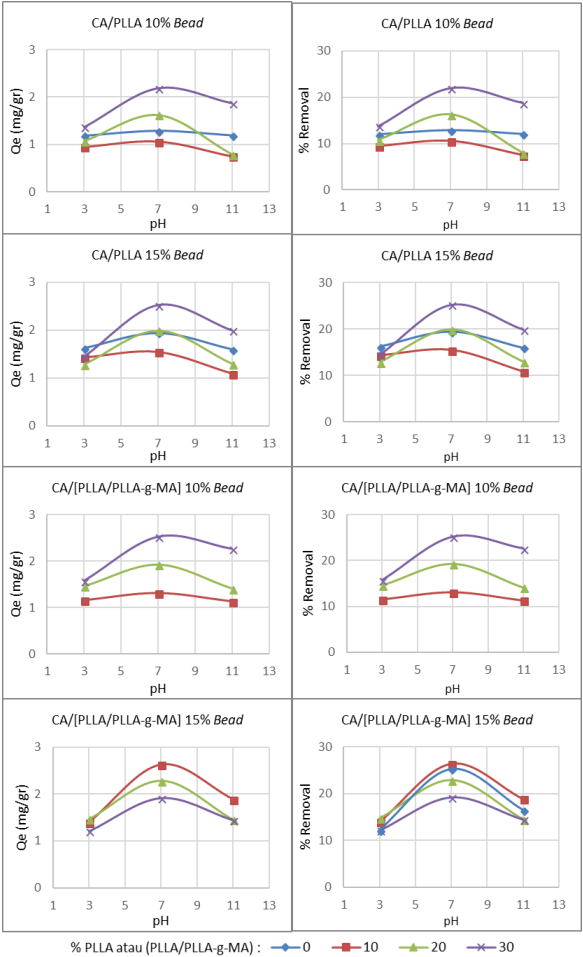
IV.3 Pengaruh pH awal Larutan MB Terhadap Proses Adsorpsi MB oleh *Beads*

Dilakukan uji adsorpsi pada berbagai kondisi awal larutan untuk mempelajari pengaruh kondisi operasi adsorpsi terhadap daya serap *beads* terhadap MB dan % *removal* MB. Proses adsorpsi dilakukan pada kondisi awal larutan asam pada pH 3, kondisi netral pada pH 7, dan kondisi basa pada pH 11. pH larutan diatur dengan menggunakan larutan HCl 2N dan NaOH 2N. Proses Adsorpsi dilakukan pada semua variabel *beads* dengan konsentrasi awal larutan MB sebesar 20 mg/L, dosis *beads* 2 g/L, pH 7, dan suhu 30°C selama 32 jam. Hasil adsorpsi MB oleh *beads* pada berbagai kondisi awal larutan tersaji dalam Tabel IV.5.

Tabel IV.5 Kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* pada berbagai pH dengan Co=20 mg/L, G=2g/L, T=30°C, dan t=32 jam

<i>Beads</i>	%PLLA atau PLLA/PLLA-g-MA	Qe (mg/g)			%R		
		pH 3	pH 7	pH 11	pH 3	pH 7	pH 11
CA/PLLA 10%	0	1,19	1,29	1,20	11,94	12,92	12,02
	10	0,95	1,06	0,75	9,47	10,58	7,53
	20	1,07	1,63	0,79	10,73	16,25	7,92
	30	1,37	2,19	1,88	13,73	21,89	18,75
CA/PLLA 15 %	0	1,63	1,94	1,60	16,25	19,45	15,98
	10	1,43	1,55	1,09	14,33	15,49	10,87
	20	1,28	1,99	1,29	12,82	19,92	12,94
	30	1,45	2,52	1,99	14,48	25,23	19,94
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	1,16	1,31	1,13	11,56	13,07	11,31
	20	1,46	1,92	1,41	14,61	19,22	14,08
	30	1,57	2,52	2,26	15,72	25,24	22,62
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	1,40	2,63	1,88	13,95	26,29	18,84
	20	1,47	2,28	1,45	14,69	22,82	14,52
	30	1,21	1,92	1,44	12,12	19,15	14,44
	40	1,219	2,53	1,65	12,19	25,27	16,51

Dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan adsorpsi MB oleh CA/PLLA bead menunjukkan hasil tertinggi pada kondisi netral (pH 7) dan menurun pada kondisi asam maupun basa. Kecenderungan ini dapat dilihat pada Gambar IV.4.



Gambar IV.4 Kapasitas adsorpsi dan % Removal MB oleh beads pada berbagai pH dengan Co=20 mg/L, G=2g/L, T=30°C, dan t=32 jam

pKa dari MB adalah 0,04 (Albert and Sergeant, 1962), sehingga MB terionisasi secara sebagai kationik pada pH diatas 0,04. Pada CA dan PLLA terdapat gugus fungsi organik berupa karboksil (-COOH), dan hidroksil (-OH). Gugus fungsi organik tersebut akan memiliki muatan yang bergantung pada pH larutan induknya, hal ini dapat mempengaruhi equilibrium adsorpsi. Pada pH rendah, terdapat kelebihan ion H⁺ yang bersaing dengan molekul MB (Ali Shee, 2014). Hal inilah yang menyebabkan rendahnya adsorpsi MB oleh *beads* CA/PLLA pada pH asam.

Dengan semakin meningkatnya pH, gugus fungsi organik yang bersifat asam pada *beads* seperti karboksil akan terdeprotonasi. Hal ini mengakibatkan *beads* semakin bermuatan negatif yang dapat menarik molekul zat warna kationik dengan baik (Kumaar dkk., 2010), sehingga terjadi peningkatan adsorpsi MB oleh *beads* pada pH 7.

Setelah semua gugus karboksil terdeprotonasi, peningkatan pH dengan penambahan NaOH dapat menyebabkan bereaksinya gugus klorida pada MB dengan Natrium pada NaOH membentuk garam NaCl berdasarkan reaksi:



Terbentuknya NaCl dalam air akan memunculkan ion Na⁺ yang berukuran lebih kecil dari molekul MB. Ion Na⁺ tersebut dapat mengisi situs penyerapan pada *beads* dan menghambat terserapnya MB (Al-Anber dkk, 2011).

IV.4 Pengaruh Suhu Larutan MB Terhadap Proses Adsorpsi MB oleh *Beads*

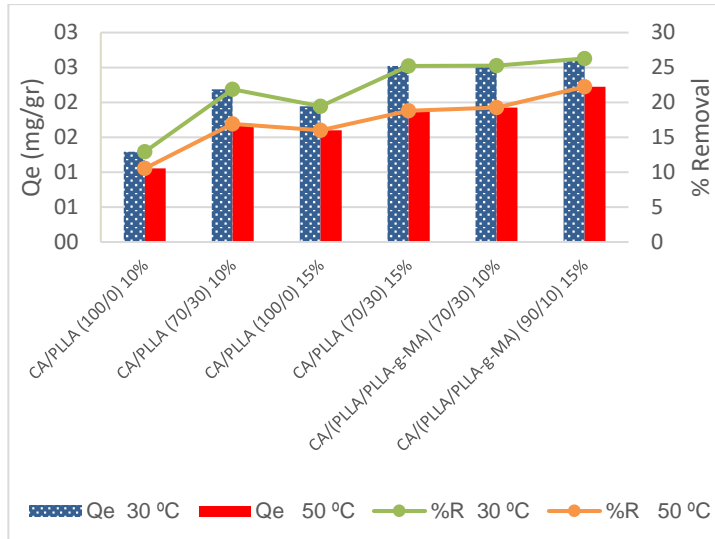
Dilakukan uji adsorpsi pada suhu 30 °C dan 50 °C untuk mempelajari pengaruh suhu adsorpsi terhadap kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads*. Pada percobaan ini, *beads* yang digunakan adalah *beads* yang menunjukkan hasil terbaik pada percobaan sebelumnya, yakni CA/PLLA (70/30) 10%, CA/PLLA (70/30) 15%, CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%, dan

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 10%. Dilakukan pula pengujian pada *beads* CA/PLLA (100/0) 10% dan CA/PLLA (100/0) 15% sebagai pembanding. Proses adsorpsi dilakukan pada larutan MB dengan konsentrasi awal sebesar 20 mg/L dan dosis *beads* 2 g/L selama 32 jam pada pH 7. Hasil adsorpsi MB oleh *beads* pada suhu 30 °C dan 50 °C tersaji dalam Tabel IV.6.

Tabel IV.6 Kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* pada berbagai suhu Co=20 mg/L, G=2g/L, pH=7, dan t=32 jam

<i>Beads</i>	Qe (mg/g)		% R	
	30 °C	50 °C	30 °C	50 °C
CA/PLLA (100/0) 10%	1,29	1,05	12,92	10,53
CA/PLLA (70/30) 10%	2,19	1,69	21,89	16,90
CA/PLLA (100/0) 15%	1,94	1,60	19,45	15,98
CA/PLLA (70/30) 15%	2,52	1,88	25,23	18,80
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,52	1,93	25,24	19,26
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,63	2,22	26,29	22,23

Dari Tabel IV.6 didapat bahwa kapasitas adsorpsi dan %R pada suhu 30 °C lebih tinggi dibanding pada suhu 50 °C. Kecenderungan ini dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Kapasitas adsorpsi dan % removal MB oleh *beads* pada berbagai suhu dengan $C_0=20$ mg/L, $G=2$ g/L, $pH=7$ dan $t=32$ jam

Peningkatan suhu yang menyebabkan menurunnya kapasitas adsorpsi oleh *beads* menunjukkan bahwa proses adsorpsi MB oleh CA/PLLA *beads* merupakan proses eksotermis, dimana suhu yang lebih rendah dapat meningkatkan jumlah MB yang terserap ke dalam *beads*. Hal ini sesuai dengan sifat alamiah adsorpsi dimana entalpi (ΔH) adsorpsi bernilai negatif. Saat molekul MB terserap dan menempel di permukaan *beads*, pergerakan molekul MB terhambat sehingga entropi (ΔS) MB bernilai negatif. Secara alamiah, adsorpsi berlangsung secara spontan. Saat suatu proses berlangsung secara spontan, energi bebas Gibbs (ΔG) bernilai negatif. Berdasarkan persamaan energi bebas Gibbs berikut

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Agar Jika ΔG bernilai negatif saat ΔS bernilai negatif, maka ΔH harus bernilai negatif (Crittenden dan Thomas, 1998)

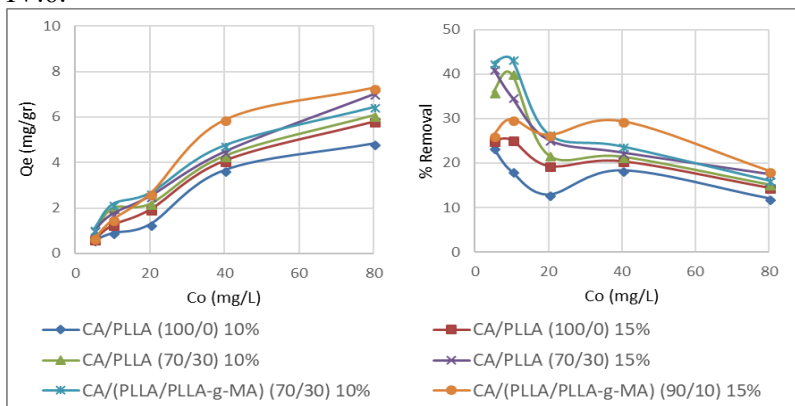
IV.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan MB Terhadap Proses Adsorpsi MB oleh *Beads*

Dilakukan adsorpsi pada berbagai konsentrasi awal larutan MB untuk mengetahui pengaruh perubahan konsentrasi awal MB terhadap kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* . Proses adsorpsi dilakukan pada suhu 30 °C dan pH 7 dengan dosis *beads* sebesar 2 g/L selama 32 jam. Tabel IV.7 menyajikan hasil adsorpsi pada berbagai konsentrasi awal larutan MB.

Tabel IV.7 Kapasitas adsorpsi *beads* dengan berbagai konsentrasi awal larutan MB dengan G=2g/L, T=30°C, pH=7 dan t=32 jam

<i>Beads</i>	Qe (mg/L)				
	Co (mg/L) : 5	10	20	40	80
CA/PLLA (100/0) 10%	0,59	0,91	1,29	3,67	4,83
CA/PLLA (100/0) 15%	0,63	0,26	1,94	4,10	5,81
CA/PLLA (70/30) 10%	0,90	2,00	2,19	4,30	6,09
CA/PLLA (70/30) 15%	1,03	1,75	2,52	4,48	7,01
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	1,06	2,17	2,66	4,76	6,45
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	0,66	1,49	2,63	5,88	7,29
	%R				
	Co (mg/L) : 5	10	20	40	80
CA/PLLA (100/0) 10%	23,46	18,13	12,92	18,35	12,08
CA/PLLA (100/0) 15%	25,09	25,28	19,45	20,48	14,52
CA/PLLA (70/30) 10%	36,01	40,09	21,89	21,49	15,21
CA/PLLA (70/30) 15%	41,28	34,94	25,23	22,40	17,53
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	42,53	43,41	26,60	23,81	16,12
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	26,22	29,86	26,32	29,39	18,22

Dengan konsentrasi awal larutan MB yang lebih tinggi, kecenderungan partikel MB untuk berdifusi ke dalam *beads* semakin besar. Karenanya kapasitas adsorpsi akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi awal larutan MB. Namun peningkatan kapasitas adsorpsi akan terhenti ketika kapasitas adsorpsi maksimal (Q_{\max}) telah tercapai. Tercapainya Q_{\max} ini menandakan seluruh permukaan *beads* yang dapat menyerap MB telah ditempati oleh partikel MB. Peningkatan kapasitas adsorpsi *beads* terhadap MB digambarkan dalam Gambar IV.6.



Gambar IV.6 Kurva kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads* pada berbagai konsentrasi awal larutan MB dengan $G=2\text{g/L}$, $T=30^\circ\text{C}$, $\text{pH}=7$, dan $t=32$ jam

Pada Gambar IV.6 dapat diamati bahwa peningkatan kapasitas adsorpsi Mb oleh *beads* masih signifikan pada konsentrasi awal MB 80 mg/L, misalnya pada *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10% terjadi kenaikan kapasitas adsorpsi dari 4,76 mg/g menjadi 6,45 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa Q_{\max} belum tercapai dan peningkatan kapasitas adsorpsi pada konsentrasi awal MB diatas 80 mg/L masih memungkinkan. Pada Gambar IV.6 juga dapat diamati bahwa % *removal* MB dari larutan cenderung menurun seiring dengan naiknya konsentrasi awal MB. Hal ini dikarenakan kenaikan kapasitas

adsorpsi MB oleh *beads* tidak sebanding dengan peningkatan konsentrasi awal MB. Kapasitas adsorpsi tertinggi yang didapatkan sebesar 7,29 mg/g oleh *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15% pada konsentrasi awal larutan MB 80 mg/L dan %R tertinggi sebesar 41,53% oleh *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10% pada konsentrasi awal MB 5 mg/g.

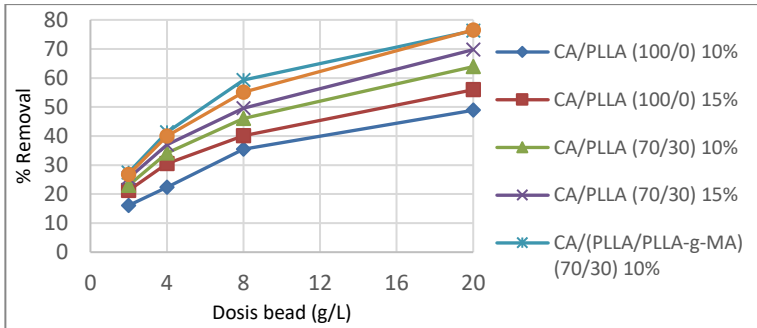
IV.6 Pengaruh Dosis *Beads* Terhadap Adsorpsi MB oleh *Beads*

Dilakukan adsorpsi dengan berbagai dosis *beads* untuk mengetahui pengaruh perubahan dosis *beads* terhadap kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB oleh *beads*. Proses adsorpsi dilakukan pada suhu 30 °C dan pH 7 dengan konsentrasi awal larutan 20 mg/L selama 32 jam. Tabel IV.8 menyajikan hasil adsorpsi pada berbagai konsentrasi awal larutan MB.

Tabel IV.8 Kapasitas adsorpsi dan % *removal* MB dengan berbagai dosis *beads* dengan Co=20 mg/L, T=30°C, pH=7 dan t=32 jam

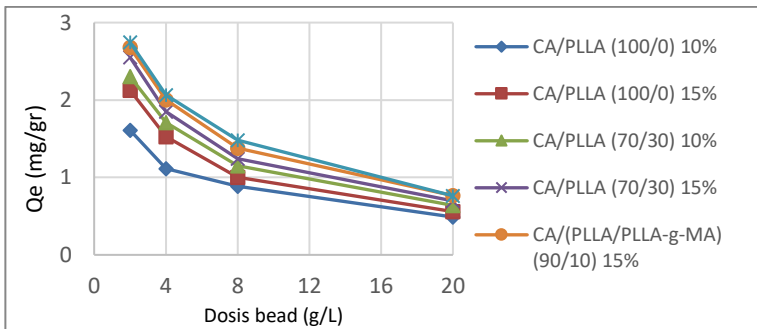
<i>Beads</i>	<i>q_e</i> (mg/g)				
	Dosis <i>beads</i> (gr/L):	2	4	8	20
CA/PLLA (100/0) 10%		1,61	1,12	0,89	0,49
CA/PLLA (100/0) 15%		2,13	1,53	1,00	0,56
CA/PLLA (70/30) 10%		2,30	1,71	1,15	0,64
CA/PLLA (70/30) 15%		2,55	1,85	1,24	0,70
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%		2,75	2,06	1,48	0,76
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%		2,68	2,00	1,38	0,77

	%R				
	Dosis <i>beads</i> (gr/L):	2	4	8	20
CA/PLLA (100/0) 10%		16,11	22,30	35,49	48,88
CA/PLLA (100/0) 15%		21,27	30,53	40,09	55,93
CA/PLLA (70/30) 10%		23,04	34,16	46,05	63,89
CA/PLLA (70/30) 15%		25,52	36,99	49,59	69,73
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%		27,46	41,27	59,26	76,28
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%		26,78	40,03	55,10	76,52



Gambar IV.7 Grafik % *removal* adsorpsi MB oleh *beads* dengan berbagai dosis *beads* dengan $Co=20$ mg/L, $T=30^{\circ}\text{C}$, $pH=7$ dan $t=32$ jam

Gambar IV.7 menunjukkan seiring dengan meningkatnya dosis *beads* terjadi peningkatan % *removal* MB. % *removal* tertinggi sebesar 76,5 % oleh *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 10% dengan dosis 20 g/L. Peningkatan jumlah *beads* akan menambah jumlah permukaan yang dapat menyerap MB, sehingga MB yang terserap dari air semakin banyak.



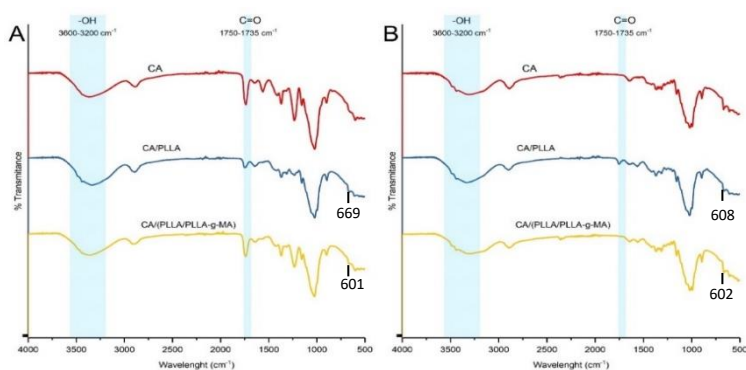
Gambar IV.8 Grafik kapasitas adsorpsi MB oleh *beads* dengan berbagai dosis *beads* dengan $Co=20$ mg/L, $T=30^{\circ}\text{C}$, $pH=7$ dan $t=32$ jam

Jumlah MB terserap per satuan massa *beads* pada waktu equilibrium atau Q_e (mg/g) menurun seiring dengan peningkatan dosis *beads* sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8. Hal ini dikarenakan masih adanya situs adsorpsi yang belum jenuh saat

equilibrium telah tercapai (Miyah, dkk., 2014). Selain itu, dengan semakin banyaknya *beads*, laju penyerapan MB dari larutan oleh *beads* secara keseluruhan akan meningkat, yang mana akan mempercepat menurunnya konsentrasi MB dalam larutan. Dengan semakin cepatnya penurunan konsentrasi larutan, dan meningkatnya konsentrasi MB dalam bead, laju desorpsi akan cepat meningkat dan laju adsorpsi semakin cepat menurun. Hal ini menyebabkan equilibrium, yakni saat laju adsorpsi dan desorpsi sama besar, cepat tercapai dan penyerapan berhenti (K. Tan, dkk., 2017). Hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Miyah, dkk. (2014) mengenai adsorpsi cristal violete oleh pyrophyllite. Hal inilah yang menyebabkan menurunnya Q_e jika adsorpsi dilakukan dengan dosis yang lebih besar.

IV.7 Fourier-Transform Infrared Spectrophotometry (FT-IR)

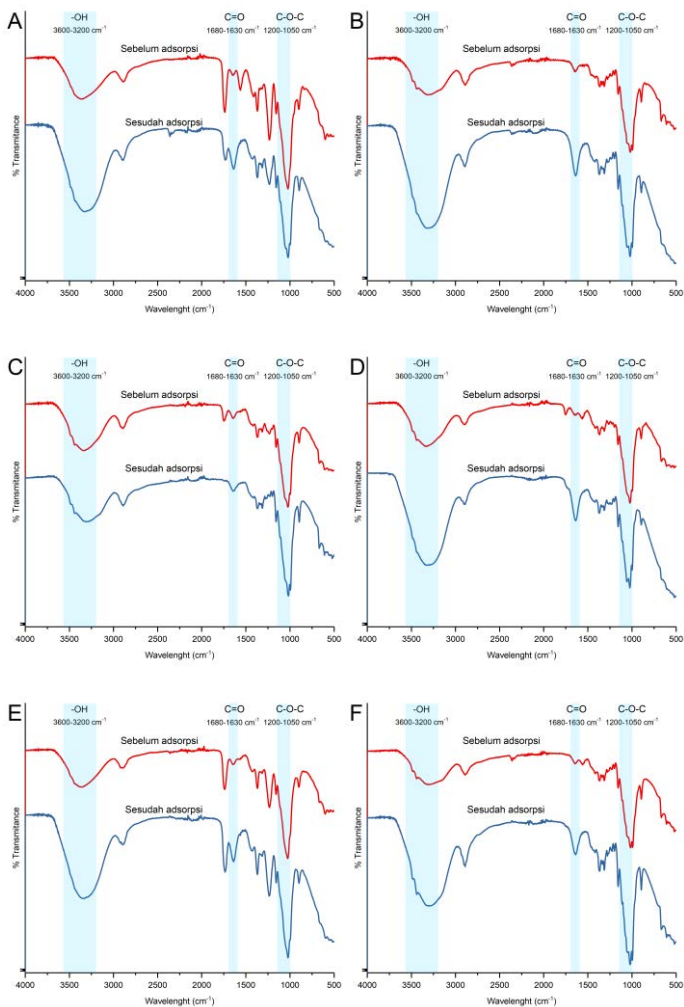
Sebelum proses adsorpsi, terlebih dahulu dilakukan karakterisasi gugus fungsi dari *beads* dengan analisa FTIR. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mempelajari perbedaan gugus fungsi pada masing-masing variabel *beads*. Pada Gambar IV.9 dapat dilihat hasil FTIR dari masing masing *beads*.



Gambar IV.9 FTIR dari *beads* hasil sintesis sebelum proses adsorpsi (A) *beads* 10% berat ; (A) *beads* 15% berat

Karakteristik CA pada CA/PLLA dan CA/(PLLA/PLLA-g-MA) baik yang 10% dan 15% terlihat pada panjang gelombang 3600 – 3200 cm^{-1} menunjukkan gugus hidroksil (–OH) dari molekul CA. Ming Zhu, 2013 melaporkan bahwa hal ini disebabkan asetilasi dari CA tidak 100% sehingga gugus –OH muncul. Ming Zhu juga melaporkan bahwa karakteristik khas CA terletak pada panjang gelombang 3000-2800 cm^{-1} yang menunjukkan gugus C-H *stretching* pada CH_2 dan CH_3 . Pada Gambar IV.9 juga teramati puncak pada 2890 cm^{-1} pada hasil FTIR *beads* 10% berat serta 2892 cm^{-1} pada *beads* 15% berat yang sesuai dengan penelitian Ming Zhu. *Stretching* dari gugus C=O kelompok poliester terobservasi pada panjang gelombang 1735 – 1750 cm^{-1} yang menunjukkan karakteristik dari PLLA. Pada *beads* CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10% terlihat pergeseran puncak dari 669 menjadi 601 dan 15% dari 608 menjadi 602. Abubakar, 2017 menyatakan hal ini merupakan vibrasi pada *bending* C – H dari cincin anhidrida yang terlibat dalam reaksi grafting. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa penambahan PLLA-g-MA pada CA/PLLA *beads* berhasil dilakukan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sintesis biokomposit *beads* berhasil dilakukan.

Analisa FTIR juga dilakukan setelah proses adsorpsi pada 6 variabel *beads* yang tersaji pada Gambar IV.10 Hal ini bertujuan untuk mempelajari gugus fungsi *beads* setelah MB teradsorpsi. *Beads* yang di analisa adalah *beads* yang digunakan pada adsorpsi untuk mengetahui pengaruh komposisi *beads* terhadap proses adsorpsi.



Gambar IV.10 FTIR *beads* sebelum dan sesudah dilakukan proses adsorpsi ; (A) CA/PLLA (100/0) 10%; (B) CA/PLLA (100/0) 15%; (C) CA/PLLA (70/30) 10%; (D) CA/PLLA (70/30) 15%; (E) CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (100/0) 10%; (F) CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (100/0) 15%;

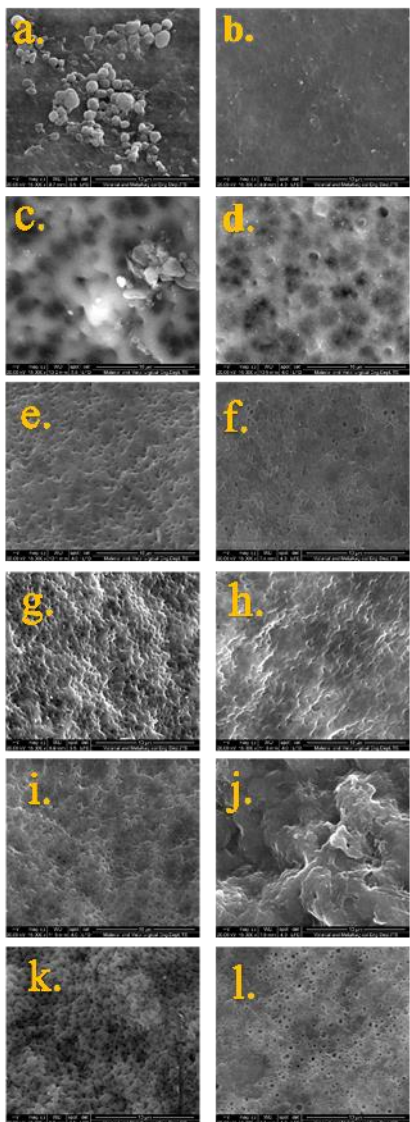
Dari ke enam hasil FTIR adsorpsi secara keseluruhan tidak terlihat munculnya *peak* baru setelah proses adsorpsi. Secara kualitatif, perbedaan terlihat pada panjang gelombang 3600-3200, 1680-1630, dan 1200-1050 yang terlihat semakin tajam. Hal ini terlihat pada semua variabel *beads* dengan kecenderungan identik. Methylene blue mempunyai gugus hidroksil -OH yang terlihat pada 3600-3200 cm^{-1} sehingga terlihat puncak yang semakin kuat pada panjang gelombang 3600-3200 cm^{-1} setelah proses adsorpsi. Ainane, 2014 melaporkan bahwa pada spektra FTIR, penyerapan MB pada adsorben limbah mint secara intens terlihat pada panjang gelombang sekitar 3443 cm^{-1} . Panjang gelombang 1680-1630 merepresentasikan gugus C=O kelompok amida pada MB. Ainane, 2014 menjelaskan bahwa *peak* 1655 merupakan vibrasi peregangan asimetris C=O penyerapan MB pada adsorben limbah mint. Gugus C-O-C terbaca pada panjang gelombang 1200-1050. Dalam penelitiannya tentang adsorpsi MB pada SACF, Ismail, 2016 melaporkan bahwa kelompok C-O-C dan S-O dapat menarik sebagian atom S positif molekul MB. Hal ini ditunjukkan pada FTIR pada pergeseran gelombang dari 1062 ke 1057 cm^{-1} dan 1115 hingga 1110 cm^{-1} .

IV.8 Analisa Morfologi *Beads*

Hasil analisa SEM (Scanning Electro Microscopy) bertujuan untuk mengetahui morfologi PLLA/CA beads baik pada permukaan beads maupun bagian dalam beads sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Gambar IV.11 memperlihatkan hasil SEM pada permukaan luar beads (utuh) pada variabel CA/PLLA dan CA/[PLLA/PLLA-g-MA] 10% dan 15% berat baik sebelum dan sesudah proses adsorpsi MB pada perbesaran 15000x. Sedangkan Gambar IV.12 memperlihatkan belahan bagian dalam beads beads baik sebelum dan sesudah proses adsorpsi MB pada perbesaran 15000x. Beads yang di analisa setelah proses adsorpsi adalah beads yang digunakan pada adsorpsi untuk mengetahui pengaruh komposisi beads terhadap proses adsorpsi (sub-bab

IV.2). Kondisi operasi yang dipakai yaitu pH 7, suhu larutan dye 30°C, konsentrasi larutan dye 20 ppm dan dosis bead 2g/L.

Dari Gambar IV.11 dapat dilihat perbedaan permukaan beads pada saat sebelum dan sesudah adsorpsi. Pada Gambar IV.11 (a.) dan (b.) memperlihatkan permukaan beads CA/PLLA (100/0) 10% sebelum dan sesudah adsorpsi. Pada variabel ini tidak terlihat perbedaan yang signifikan pada struktur permukaan luar beads sebelum dan sesudah adsorpsi. Pada Gambar IV.11 (c.) dan (d.) memperlihatkan permukaan beads CA/PLLA (100/0) 15% sebelum dan sesudah adsorpsi. Hasil yang didapat juga tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan. Hal ini dimungkinkan karena hasil adsorpsi sub-bab IV.2 pada variabel ini dye yang teradsorp lebih sedikit dari variabel lainnya. Sehingga partikel methylene blue yang menempel pada permukaan beads tidak terlihat menutup atau membuat pori lebih sempit. Dari dua variabel ini secara kualitatif terlihat bahwa beads dengan berat polimer 15% mempunyai pori yang lebih besar. Hasil adsorpsi pada sub-bab IV.2 juga menunjukkan bahwa beads dengan berat polimer 15% mempunyai daya serap lebih besar dibandingkan 10% berat.



Gambar IV.11 Hasil SEM dari permukaan *beads* pada perbesaran 15000x sebelum dan sesudah adsorpsi larutan MB :

CA/PLLA (100/0) 10% sebelum adsorpsi (a) dan sesudah adsorpsi (b)

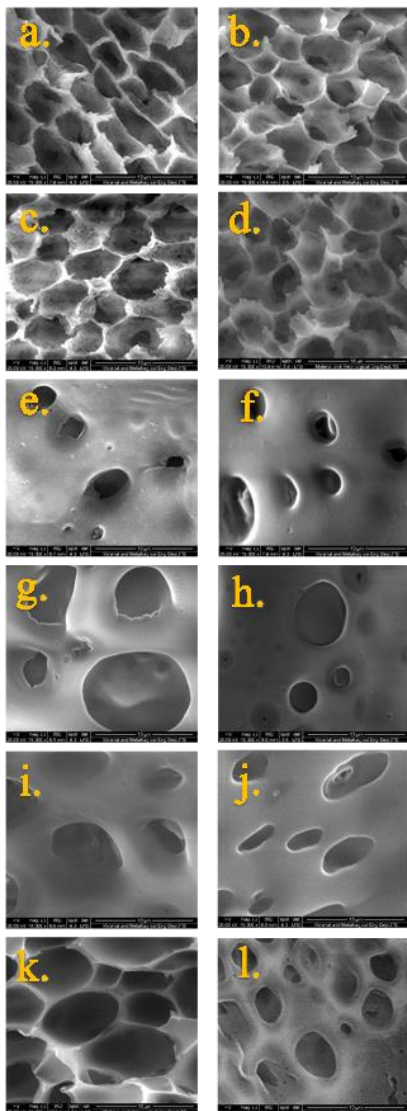
CA/PLLA (100/0) 15% sebelum adsorpsi (c) dan sesudah adsorpsi (d)

CA/PLLA (70/30) 10% sebelum adsorpsi (e) dan sesudah adsorpsi (f)

CA/PLLA (70/30) 15% sebelum adsorpsi (g) dan sesudah adsorpsi (h)

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10% sebelum adsorpsi (i) dan sesudah adsorpsi (j)

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 15% sebelum adsorpsi (k) dan sesudah adsorpsi (l)



Gambar IV.12 Hasil SEM dari belahan *beads* pada perbesaran 5000x sebelum dan sesudah adsorpsi larutan MB :

CA/PLLA (100/0) 10% sebelum adsorpsi (a) dan sesudah adsorpsi (b)

CA/PLLA (100/0) 15% sebelum adsorpsi (c) dan sesudah adsorpsi (d)

CA/PLLA (70/30) 10% sebelum adsorpsi (e) dan sesudah adsorpsi (f)

CA/PLLA (70/30) 15% sebelum adsorpsi (g) dan sesudah adsorpsi (h)

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10% sebelum adsorpsi (i) dan sesudah adsorpsi (j)

CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 15% sebelum adsorpsi (k) dan sesudah adsorpsi (l)

Gambar IV.11 (e.) dan (f.) memperlihatkan permukaan *beads* CA/PLLA (70/30) 10% sebelum dan sesudah adsorpsi. Secara kualitatif pori dengan diameter kurang dari $0,05\mu\text{m}$ pada *beads* setelah adsorpsi terlihat lebih sedikit. Pada Gambar IV.11 (g.) dan (h.) memperlihatkan permukaan *beads* CA/PLLA (100/30) 15% sebelum dan sesudah adsorpsi. Secara kualitatif pori dengan diameter kurang dari $0,05\mu\text{m}$ pada *beads* setelah adsorpsi juga terlihat lebih sedikit. *Beads* dengan penambahan PLLA memperlihatkan pori yang lebih banyak dibandingkan *beads* CA/PLLA (100/0). Hasil adsorpsi pada sub-bab IV.2 juga menunjukkan bahwa *beads* dengan penambahan PLLA mempunyai daya serap lebih besar dibandingkan CA murni.

Gambar IV.11 (i.) dan (j.) memperlihatkan permukaan *beads* CA/[PLLA/PLLA-g-MA] (100/30) 10% sebelum dan sesudah adsorpsi. Secara kualitatif pori dengan diameter kurang dari $0,05\mu\text{m}$ pada *beads* setelah adsorpsi terlihat lebih sedikit. Pada Gambar IV.11 (k.) dan (l.) memperlihatkan permukaan *beads* CA/[PLLA/PLLA-g-MA] (70/30) 15% sebelum dan sesudah adsorpsi. Secara kualitatif pori dengan diameter kurang dari $0,05\mu\text{m}$ pada *beads* setelah adsorpsi juga terlihat lebih sedikit. *Beads* dengan penambahan PLLA/PLLA-g-MA memperlihatkan pori yang lebih banyak dibandingkan *beads* CA/PLLA (100/0) dan CA/PLLA (70/30). Hasil adsorpsi pada sub-bab IV.2 juga menunjukkan bahwa *beads* dengan penambahan PLLA/PLLA-g-MA mempunyai daya serap lebih besar dibandingkan CA/PLLA (100/0) dan CA/PLLA (70/30).

Secara umum terlihat bahwa secara keseluruhan permukaan *beads* sebelum adsorpsi tampak kasar atau lebih berongga bila dibandingkan dengan permukaan *beads* setelah proses adsorpsi MB. Kecenderungan ini terlihat pada semua variabel *beads*. Dari studi kinetika yang telah dilakukan, diketahui bahwa proses adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini adalah adsorpsi fisik. Pada adsorpsi fisika, zat warna MB teradsorpsi pada permukaan *beads*. Partikel - partikel zat warna yang menempel pada permukaan *beads* membuat struktur permukaan *beads* setelah proses adsorpsi terlihat lebih halus. Oleh karena itu rongga atau pori pada permukaan terlihat lebih kecil dari sebelumnya.

Hasil SEM pada belahan *beads* memperlihatkan bagian dalam *beads* yang berpori terlihat pada Gambar IV.12. Dari pori-pori yang ada pada *beads* sebelum adsorpsi, terdapat beberapa pori yang terlihat lebih kecil. Pori ini tidak terlihat lagi pada hasil SEM setelah proses adsorpsi yang terlihat cukup jelas pada Gambar IV.12 (e.) dan Gambar IV.12 (f.) serta Gambar IV.12 (i). dan Gambar IV.12 (j). Hasil SEM juga memperlihatkan ukuran pori bagian dalam *beads* sesudah adsorpsi terlihat lebih kecil daripada ukuran pori bagian dalam *beads* sebelum adsorpsi. Kecenderungan ini terlihat jelas pada Gambar IV.12 (g.) dan Gambar IV (h) serta Gambar IV (k.) dan Gambar IV.12 (l.). Hal ini terjadi karena partikel - partikel *methylene blue* yang menempel pada permukaan *beads* membuat ukuran pori pada bagian dalam *beads* terlihat lebih kecil dari sebelumnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh perubahan perbandingan berat dan komposisi beads terhadap kinerja proses adsorpsi yaitu kapasitas adsorpsi dan % *removal* cenderung meningkat dengan meningkatnya persentase PLLA maupun PLLA/PLLA-g-MA dalam *beads* berbasis CA.
2. Penambahan PLLA-g-MA pada biokomposit *bead* CA/PLLA dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dan % *removal dye* oleh *bead*.
3. Peningkatan konsentrasi awal larutan zat warna akan meningkatkan kapasitas adsorpsi *bead* dan memperkecil % *removal*, penambahan dosis *bead* akan memperkecil kapasitas adsorpsi dan meningkatkan % *removal*, peningkatan suhu akan meningkatkan kapasitas adsorpsi dan % *removal*, dan pH optimal untuk proses adsorpsi adalah 7.
4. Data kinetika yang didapat sesuai dengan model *pseudo-first-order* Lagergren dan adsorpsi terjadi secara fisis.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisa BET untuk mengetahui diameter pori biokomposit *beads*.
2. Dilakukan adsorpsi dengan variabel konsentrasi larutan *dye* lebih banyak guna mempelajari isoterm adsorpsi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Agata, N., Tatsushima, T., Nakane, K., Sasaki, K., & Ogihara, T. (2002). Structure and Physical Properties of Cellulose Acetate/Poly(L-lactide) Blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 1219-1226.
- Al-Anber, Z. A., Al-Anber, M. A., Matouq, M., Al-Ayed, O., & Omari, N. M. (2011). Defatted Jojoba for the removal of methylene blue from aqueous solution: Thermodynamic and kinetic studies. *Desalination*, 276(1–3), 169–174.
- Al-Ghouti, M. A., Khraisheh, M. A. M., Allen, S. J., & Ahmad, M. N. (2003). The removal of dyes from textile wastewater: A study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth. *Journal of Environmental Management*, 69(3), 229–238.
- Ali, S. (2014). Comparative Adsorption of Methylene Blue and Congo Red Dyes Onto Coconut Husks , Mangrove and Polylactide Blended Films By a Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Degree of Master of Science in Chemistry of the University of Nairobi, (November).
- Chang, C., & Zhang, L. (2011). Cellulose-based hydrogels: Present status and application prospects. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 40–53.
- Di Lorenzo, M. L., & Androsch, R. (2018). *Synthesis, Structure and Properties of Poly(lactic acid)* (Vol. 279).
- Du, K. F., Yan, M., Wang, Q. Y., & Song, H. (2010). Preparation and characterization of novel macroporous cellulose beads regenerated from ionic liquid for fast chromatography.

Journal of Chromatography A, 1217(8), 1298–1304.

- Fischer, S., Thümmeler, K., Volkert, B., Hettrich, K., Schmidt, I., & Fischer, K. (2008). Properties and Applications of Cellulose Acetate. *Macromolecular Symposia*, 262(1), 89–96. <https://doi.org/10.1002/masy.200850210>
- Gericke, M., Trygg, J., & Fardim, P. (n.d.). Functional Cellulose Beads : Preparation , Characterization , and Applications. <https://doi.org/dx.doi.org/10.1021/cr300242j>
- Gonte, R. R., Balasubramanian, K., & Mumbreakar, J. D. (2013). Porous and Cross-Linked Cellulose Beads for Toxic Metal Ion Removal: Hg(II) Ions. *Journal of Polymers*, 2013(Ii), 1–9.
- Gupta, V. K., & Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342.
- Húmpola, P. D., Odetti, H. S., Fertitta, A. E., & Vicente, J. L. (2013). Thermodynamic Analysis Of Adsorption Models Of Phenol In Liquid Phase On Different Activated Carbons. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 58(1), 1541–1544.
- Jamshidian, M., Tehrany, E. A., Imran, M., Jacquot, M., & Desobry, S. (2010). Poly-Lactic Acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 552–571.
- Jiang, L., Liu, B., & Zhang, J. (2009). Novel high-strength thermoplastic starch reinforced by in situ poly(lactic acid) fibrillation. *Macromolecular Materials and Engineering*, 294(5), 301–305.
- Kakroodi, A. R., Kazemi, Y., Cloutier, A., & Rodrigue, D. (2015). Mechanical performance of polyethylene (PE)-based

- biocomposites. In *Biocomposites: Design and Mechanical Performance* (Fourteenth, pp. 237–256). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-373-7.00003-2>
- Kumar, K. V. (2006). Linear and non-linear regression analysis for the sorption kinetics of methylene blue onto activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 137(3), 1538–1544.
- Morales, A., Bordallo, E., Leon, V., & Rieumont, J. (2004). Adsorption and releasing properties of bead cellulose. *Chinese Journal of Polymer Science (English Edition)*, 22(5), 417–423.
- Ncibi, M. C., Mahjoub, B., & Seffen, M. (2007). Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres. *Journal of Hazardous Materials*, 139(2), 280–285.
- Nie, L., & Narayan, R. (1994). Grafting cellulose acetate with styrene maleic anhydride random copolymers for improved dimensional stability of cellulose acetate. *Journal of Applied Polymer Science*, 54(5), 601–617.
- Ogata, N., Tatsushima, T., Nakane, K., Sasaki, K., & Ogihara, T. (2002). Structure and physical properties of cellulose acetate/poly(L-lactide) blends. *Journal of Applied*
- Pan, J., Wang, Y., Qin, S., Zhang, B., & Luo, Y. (2005b). Grafting reaction of poly(D,L)lactic acid with maleic anhydride and hexanediamine to introduce more reactive groups in its bulk. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 74B(1), 476–480.
- Park, H. M., Liang, X., Mohanty, A. K., Misra, M., & Drzal, L. T. (2004). Effect of compatibilizer on nanostructure of the biodegradable cellulose acetate/organoclay nanocomposites. *Macromolecules*, 37(24), 9076–9082. <https://doi.org/10.1021/ma048958s>

- Petersson, L., Oksman, K., & Mathew, A. P. (2006). Using maleic anhydride grafted poly(lactic acid) as a compatibilizer in poly(lactic acid)/layered-silicate nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(2), 1852–1862.
- Quintana, R., Persenaire, O., Lemmouchi, Y., Bonnaud, L., & Dubois, P. (2014). Grafted d/l-lactide to cellulose acetate by reactive melt processing: Its role as CA/PLA blend compatibilizer. *European Polymer Journal*, 57, 30–36.
- Rao, S. R. (n.d.). *Surface Chemistry of Froth Flotation Volume 1: Fundamentals Second Edition* (Vol. 1).
- Saed, U. A., Hussein, M., & Nahrain, A. (2014). Adsorption of Methylene Blue Dye From Aqueous Solution Using Can Papyrus, (1), 218–229. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/291320548_Adsorption_of_methylene_blue_dye_from_aqueous_solution_using_can_papyrus
- Sattar, M., Hayeeye, F., Chinpa, W., & Sirichote, O. (2017). Preparation and characterization of poly (lactic acid)/activated carbon composite bead via phase inversion method and its use as adsorbent for Rhodamine B in aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*,
- Sescousse, R., Gavillon, R., & Budtova, T. (2011). Wet and dry highly porous cellulose beads from cellulose–NaOH–water solutions: influence of the preparation conditions on beads shape and encapsulation of inorganic particles. *Journal of Materials Science*, 46(3), 759–765.
- Shen, X., Shamshina, J. L., Berton, P., Gurau, G., & Rogers, R. D. (2016). Hydrogels based on cellulose and chitin: fabrication, properties, and applications. *Green Chem.*, 18(1), 53–75.

- Suteu, D., Biliuta, G., Rusu, L., Coseri, S., & Nacu, G. (2015). Cellulose cellets as new type of adsorbent for the removal of dyes from aqueous media. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(3), 525–532
- Tan, K. L., & Hameed, B. H. (2017). Insight into the adsorption kinetics models for the removal of contaminants from aqueous solutions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 25–48.
- Thümmmler, K., Fischer, S., Feldner, A., Weber, V., Ettenauer, M., Loth, F., & Falkenhagen, D. (2011). Preparation and characterization of cellulose microspheres. *Cellulose*, 18(1),
- Voon, L. K., Pang, S. C., & Chin, S. F. (2015). Highly porous cellulose beads of controllable sizes derived from regenerated cellulose of printed paper wastes. *Materials Letters*, 164, 264–266.
- Wan Ngah, W. S., Teong, L. C., & Hanafiah, M. A. K. M. (2011). Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. *Carbohydrate Polymers*, 83(4), 1446–1456.
- Wang, H.-M., Chou, Y.-T., Wu, C.-S., & Yeh, J.-T. (2012). Polyester/cellulose acetate composites: Preparation, characterization and biocompatible. *Journal of Applied Polymer Science*, 126(S2), E242–E251.
- Wang, S., Lu, A., & Zhang, L. (2016). Recent advances in regenerated cellulose materials. *Progress in Polymer Science*, 53, 169–206.
- Witthayaprapakorn, C., Thananukul, K., Suttunun, N., Punyamonwongsa, P., & Molloy, R. (2013a). Preparation of Biodegradable Polymer Blended of Poly(L-Lactic Acid)/Cellulose Acetate Films in the Solvent Mixture. *Advanced Materials Research*, 664(June), 702–706.

- Yee, Y. Y., Ching, Y. C., Rozali, S., Hashim, N. A., & Singh, R. (2016). Preparation and Characterization of Poly(lactic Acid)- based Composite Reinforced with Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber and Nanosilica. *BioResources* 11, 11(2014), 2269–2286. Retrieved from http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_1_2269_Yee_Preparation_Characterization_Composite_Nanosilica
- Zhou, C. H., Zhang, D., Tong, D. S., Wu, L. M., Yu, W. H., & Ismadji, S. (2012). Paper-like composites of cellulose acetate-organo-montmorillonite for removal of hazardous anionic dye in water. *Chemical Engineering Journal*, 209, 223–234.
- Zhu, M., Lan, J., Tan, C., Sui, G., & Yang, X. (2016). Degradable cellulose acetate/ poly-L-lacticacid / halloysite nanotube composite nanofiber membranes with outstanding performance for gel polymer electrolytes. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(31), 12136–12143. <https://doi.org/10.1039/C6TA05207J>

APPENDIKS A

PERHITUNGAN KOMPOSISI BAHAN

1. Perhitungan Komposisi Bahan dan Pelarut untuk *CA/PLLA Beads* konsentrasi larutan 10% wt

- Perbandingan berat solute dan solvent = 10%
- Berat solute = 5 gr
- Densitas kloroform = 1,49 gr/ml
- Densitas aseton = 0,791 gr/ml
- Densitas DMSO = 1,1 gr/ml
- Perbandingan berat
(Aseton+DMSO) : kloroform = 80% : 20%
- Perbandingan berat Aseton : DMSO = 60% : 40%

Contoh perhitungan :

- a. *CA/PLLA Bead* 100/0

- 10% x berat larutan total = berat solute
 10% x berat larutan total = 5 gr
 Berat *CA* = 100% x 5 gr
 = 5 gr
 Berat larutan total = 50 gr
- 90% x berat larutan total = berat solvent
 90% x 50 gr = 45 gr
- Volume *solvent CA* yang dibutuhkan
 100 % x 45 gr = 45 gr
 - Aseton = 60% x 45 gr
 = 27 gr
 Volume aseton = $\frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}}$
 = $\frac{27 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}}$

$$\begin{aligned}
 &= 34,13 \text{ ml} \\
 - \text{ DMSO} &= 40\% \times 45 \text{ gr} \\
 &= 18 \text{ gr} \\
 \text{Volume DMSO} &= \frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}} \\
 &= \frac{18 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}} \\
 &= 16,36 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 100/0.

b. *CA/PLLA Bead* 70/30

- $$\begin{aligned}
 &10\% \times \text{berat larutan total} &&= \text{berat solute} \\
 &10\% \times \text{berat larutan total} &&= 5 \text{ gr} \\
 \text{Berat CA} &&&= 70\% \times 5 \text{ gr} \\
 &&&= 3,5 \text{ gr} \\
 \text{Berat PLLA} &&&= 30\% \times 5 \text{ gr} \\
 &&&= 1,5 \text{ gr} \\
 \text{Berat larutan total} &&&= 50 \text{ gr}
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 &90\% \times \text{berat larutan total} &&= \text{berat solvent} \\
 &90\% \times 50 \text{ gr} &&= 45 \text{ gr}
 \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned}
 &\text{Volume solvent CA yang dibutuhkan} \\
 &80\% \times 45 \text{ gr} &&= 36 \text{ gr} \\
 - \text{ Aseton} &&&= 60\% \times 36 \text{ gr} \\
 &&&= 21,60 \text{ gr} \\
 \text{Volume aseton} &&&= \frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}} \\
 &&&= \frac{21,60 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}} \\
 &&&= 27,31 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \quad \text{DMSO} &= 40\% \times 36 \text{ gr} \\
 &= 14,40 \text{ gr} \\
 \text{Volume DMSO} &= \frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}} \\
 &= \frac{14,40 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}} \\
 &= 13,09 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

- Volume *solvent PLLA* yang dibutuhkan
 $20\% \times 45 \text{ gr} = 9 \text{ gr}$
- Kloroform $= 100\% \times 9 \text{ gr}$
 $= 9 \text{ gr}$
- Volume kloroform $= \frac{\text{massa kloroform}}{\text{densitas kloroform}}$
 $= \frac{9 \text{ gr}}{1,49 \text{ gr/ml}}$
 $= 6,04 \text{ ml}$

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 70/30, 80/20, dan 90/10.

2. Perhitungan Komposisi Bahan dan Pelarut untuk *CA/PLLA Beads* konsentrasi larutan 15% wt

- Perbandingan berat solute dan solvent $= 15\%$
- Berat solute $= 5 \text{ gr}$
- Densitas kloroform $= 1,49 \text{ gr/ml}$
- Densitas aseton $= 0,791 \text{ gr/ml}$
- Densitas DMSO $= 1,1 \text{ gr/ml}$
- Perbandingan berat
 (Aseton+DMSO) : kloroform $= 70\% : 30\%$
- Perbandingan berat Aseton : DMSO $= 60\% : 40\%$

Contoh perhitungan :

a. *CA/PLLA Bead 100/0*

- 15% x berat larutan total = berat solute
15% x berat larutan total = 5 gr
Berat CA = 100% x 5 gr
= 5 gr
Berat larutan total = 33,33 gr
- 85% x berat larutan total = berat solvent
85% x 33,33 gr = 28,33 gr
- Volume *solvent CA* yang dibutuhkan
100 % x 28,33 gr = 28,33 gr
- Aseton = 60% x 28,33 gr
= 17 gr
Volume aseton = $\frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}}$
= $\frac{17 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}}$
= 21,49 ml
- DMSO = 40% x 28,33 gr
= 11,33 gr
Volume DMSO = $\frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}}$
= $\frac{11,33 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}}$
= 10,30 ml

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 100/0.

b. *CA/PLLA Bead 70/30*

- 15% x berat larutan total = berat solute
15% x berat larutan total = 5 gr
Berat CA = 70% x 5 gr
= 3,5 gr

- | | |
|---------------------|--------------|
| Berat <i>PLLA</i> | = 30% x 5 gr |
| | = 1,5 gr |
| Berat larutan total | = 33,33 gr |
-
- 85% x berat larutan total = berat solvent
 85% x 33,33 gr = 28,33 gr

 - Volume *solvent CA* yang dibutuhkan
 70 % x 28,33 gr = 19,83 gr
 - Aseton = 60% x 19,83 gr
 = 11,90 gr
 Volume aseton = $\frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}}$
 = $\frac{11,90 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}}$
 = 15,04 ml
 - DMSO = 40% x 19,83 gr
 = 7,93 gr
 Volume DMSO = $\frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}}$
 = $\frac{7,93 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}}$
 = 7,21 ml

 - Volume *solvent PLLA* yang dibutuhkan
 30 % x 28,33 gr = 8,5 gr
 - Kloroform = 100% x 8,5 gr
 = 8,5 gr
 Volume kloroform = $\frac{\text{massa kloroform}}{\text{densitas kloroform}}$
 = $\frac{8,5 \text{ gr}}{1,49 \text{ gr/ml}}$
 = 5,7 ml

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 70/30, 80/20, dan 90/10.

3. Perhitungan Komposisi Bahan dan Pelarut untuk *CA/[PLLA/PLLA-g-MA] Beads* konsentrasi larutan 10% wt

CA/[PLLA/PLLA-g-MA] Bead 70/30

- 10% x berat larutan total = berat solute
 10% x berat larutan total = 5 gr
 Berat CA = 70% x 5 gr
 = 3,5 gr
 Berat [PLLA/PLLA-g-MA] = 30% x 5 gr
 = 1,5 gr
 Berat PLLA = 90% x 1,5 gr
 = 1,35 gr
 Berat PLLA-g-MA = 10% x 1,5 gr
 = 0,15 gr
 Berat larutan total = 50 gr
- 90% x berat larutan total = berat solvent
 90% x 50 gr = 45 gr
- Volume *solvent* CA yang dibutuhkan
 80 % x 45 gr = 36 gr
 - Aseton = 60% x 36 gr
 = 21,60 gr
 Volume aseton = $\frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}}$
 = $\frac{21,60 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}}$
 = 27,31 ml
- DMSO = 40% x 36 gr
 = 14,40 gr
 Volume DMSO = $\frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}}$
 = $\frac{14,40 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}}$
 = 13,09 ml

- Volume *solvent PLLA* yang dibutuhkan
 $20\% \times 45 \text{ gr} = 9 \text{ gr}$
 - Kloroform $= 100\% \times 9 \text{ gr}$
 $= 9 \text{ gr}$
 Volume kloroform $= \frac{\text{massa kloroform}}{\text{densitas kloroform}}$
 $= \frac{9 \text{ gr}}{1,49 \text{ gr/ml}}$
 $= 6,04 \text{ ml}$

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 70/30, 80/20, dan 90/10.

4. Perhitungan Komposisi Bahan dan Pelarut untuk *CA/[PLLA/PLLA-g-MA] Beads* konsentrasi larutan 15% wt

- Perbandingan berat solute dan solvent : 15%
- Berat solute : 5 gr
- Densitas kloroform : 1,49 gr/ml
- Densitas aseton : 0,791 gr/ml
- Densitas DMSO : 1,1 gr/ml
- Perbandingan berat
 (Aseton+DMSO) : kloroform : 70% : 30%
- Perbandingan berat Aseton : DMSO : 60% : 40%

Contoh perhitungan :

CA/[PLLA/PLLA-g-MA] Bead 70/30

- $15\% \times \text{berat larutan total} = \text{berat solute}$
 $15\% \times \text{berat larutan total} = 5 \text{ gr}$
 Berat *CA* $= 70\% \times 5 \text{ gr}$
 $= 3,5 \text{ gr}$
 Berat *[PLLA/PLLA-g-MA]* $= 30\% \times 5 \text{ gr}$
 $= 1,5 \text{ gr}$

- | | |
|------------------------|----------------|
| Berat <i>PLLA</i> | = 90% x 1,5 gr |
| | = 1,35 gr |
| Berat <i>PLLA-g-MA</i> | = 10% x 1,5 gr |
| | = 0,15 gr |
| Berat larutan total | = 33,33 gr |
- 85% x berat larutan total = berat solvent
 85% x 33,33 gr = 28,33 gr

 - Volume *solvent CA* yang dibutuhkan
 70 % x 28,33 gr = 19,83 gr
 - Aseton = 60% x 19,83 gr
 = 11,90 gr
 Volume aseton = $\frac{\text{massa aseton}}{\text{densitas aseton}}$
 = $\frac{11,90 \text{ gr}}{0,791 \text{ gr/ml}}$
 = 15,04 ml

 - DMSO = 40% x 19,83 gr
 = 7,93 gr
 Volume DMSO = $\frac{\text{massa DMSO}}{\text{densitas DMSO}}$
 = $\frac{7,93 \text{ gr}}{1,1 \text{ gr/ml}}$
 = 7,21 ml

 - Volume *solvent PLLA* yang dibutuhkan
 30 % x 28,33 gr = 8,5 gr
 - Kloroform = 100% x 8,5 gr
 = 8,5 gr
 Volume kloroform = $\frac{\text{massa kloroform}}{\text{densitas kloroform}}$
 = $\frac{8,5 \text{ gr}}{1,49 \text{ gr/ml}}$
 = 5,7 ml

Langkah perhitungan di atas digunakan untuk menghitung kebutuhan bahan pada pembuatan *CA/PLLA Bead* variabel 60/40, 70/30, 80/20, dan 90/10.

Tabel A-1 Variabel Perbandingan Matriks *CA/PLLA*

Variabel	Berat <i>CA</i> (gr)	Berat <i>PLLA</i> (gr)
100/0	5	0
90/10	4,5	0,5
80/20	4	1
70/30	3,5	1,5

Tabel A-2 Variabel Perbandingan Matriks *CA/[PLLA/PLLA-g-MA]*

Variabel	Berat <i>CA</i> (gr)	Berat <i>PLLA</i> (gr)	Berat <i>PLLA-g-MA</i> (gr)
90/10	4,5	0,45	0,05
80/20	4	0,9	0,1
70/30	3,5	1,35	0,15
60/40	3	1,8	0,2

Tabel Perhitungan Komposisi Bahan

Konsetrasi	Variabel	Komposisi		Polimer (g)	Komponen Polimer(g)		
		% CA	% PLLA		CA	PLLA	PLLA-g-MA
10%	CA	100	0	5	5		
	CA/PLLA	60	40	5	3	1,12	
		70	30	5	3,5	0,84	
		80	20	5	4	0,56	
		90	10	5	4,5	0,28	
	CA/(PLLA/PLLA-g-MA)	60	40	5	3		1,12
		70	30	5	3,5		0,84
		80	20	5	4		0,56
		90	10	5	4,5		0,28
15%	CA	100	0	5	5		
	CA/PLLA	60	40	5	3	1,12	
		70	30	5	3,5	0,84	
		80	20	5	4	0,56	
		90	10	5	4,5	0,28	
	CA/(PLLA/PLLA-g-MA)	60	40	5	3		1,12
		70	30	5	3,5		0,84
		80	20	5	4		0,56
		90	10	5	4,5		0,28

Tabel Perhitungan Komposisi Pelarut

Konsetrasi	Variabel	Komposisi		Solvent (g)			Solvent (mL)		
		% CA	% PLLA	Aseton	DMSO	Kloroform	Aseton	DMSO	Kloroform
10%	CA	100	0	2,70	1,80		3,44	1,64	
	CA/PLLA	60	40	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		70	30	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		80	20	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		90	10	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
	CA/(PLLA/ PLLA-g-MA)	60	40	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		70	30	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		80	20	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
		90	10	1,89	1,26	1,35	2,41	1,15	0,91
15%	CA	100	0	2,55	1,70		2,60	1,24	
	CA/PLLA	60	40	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		70	30	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		80	20	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		90	10	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
	CA/(PLLA/ PLLA-g-MA)	60	40	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		70	30	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		80	20	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57
		90	10	2,04	1,36	0,85	2,60	1,24	0,57

Halaman ini sengaja diosongkan

APPENDIKS B

PERHITUNGAN LARUTAN METILEN BLUE

1. Larutan Induk Metilen Blue 20 ppm

Pembuatan larutan induk *methylene blue* 20 ppm dilakukan dengan cara melarutkan kristal *methylene blue* sebanyak 20 miligram dengan aquades kemudian diencerkan sampai 1000 mL menggunakan labu ukur 1000 mL. Penimbangan kristal *methylene blue* sebanyak 20 miligram berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l}$$

$$20 \text{ ppm} = 20\text{mg MB} / 1000 \text{ ml aquadest}$$

2. Larutan Standar

Larutan induk 20 ppm diencerkan masing-masing menjadi 2,5 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 12,5 ; 15 ; 17,5 ; 20 ppm sebanyak 50 mL sebagai larutan standar, menggunakan rumus berikut :

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

dengan: V_1 = volume larutan sebelum pengenceran

M_1 = konsentrasi larutan sebelum pengenceran

V_2 = volume larutan setelah pengenceran

M_2 = konsentrasi larutan setelah pengenceran

a) Larutan 2,5 ppm

$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{V_2 \times M_2}{M_1} \\ &= \frac{50\text{ml} \times 2,5\text{ppm}}{5\text{ppm}} \\ &= 25 \text{ ml} \end{aligned}$$

b) Larutan standar 2 ppm

$$\begin{aligned}V_1 \cdot M_1 &= V_2 \cdot M_2 \\V_1 &= \frac{V_2 \times M_2}{M_1} \\&= \frac{50 \text{ ml} \times 5 \text{ ppm}}{5 \text{ ppm}} \\&= 50 \text{ ml}\end{aligned}$$

Perhitungan ini analog untuk larutan standar 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; 4 ; 4,5 ; 5 ppm, sehingga volume larutan 5 ppm yang dibutuhkan untuk membuat masing-masing larutan standar tersebut adalah 25 ; 50 ; 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200 ml.

3. Larutan Adsorbat

Konsentrasi larutan adsorbat adalah 5, 10, 20, 40, dan 80 ppm sebanyak 50 ml. Banyaknya larutan yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}V_1 \cdot M_1 &= V_2 \cdot M_2 \\V_1 &= \frac{V_2 \times M_2}{M_1} \\&= \frac{50 \text{ ml} \times 5 \text{ ppm}}{5 \text{ ppm}} \\&= 50 \text{ ml}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_1 \cdot M_1 &= V_2 \cdot M_2 \\V_1 &= \frac{V_2 \times M_2}{M_1} \\&= \frac{50 \text{ ml} \times 20 \text{ ppm}}{5 \text{ ppm}} \\&= 200 \text{ ml}\end{aligned}$$

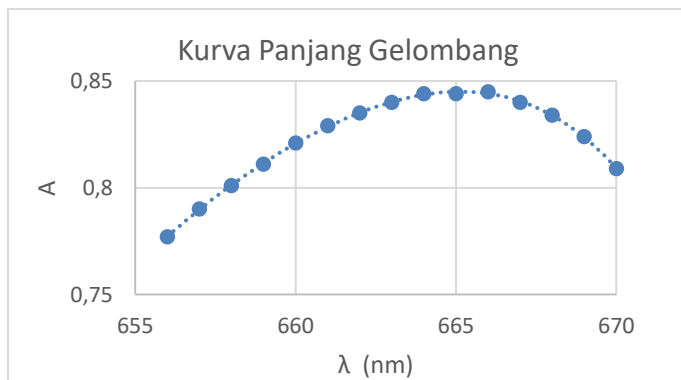
Perhitungan ini analog untuk larutan standar 5 ppm, sehingga volume larutan 5, 10, 20, 40, dan 80 ppm yang dibutuhkan untuk membuat masing-masing larutan standar tersebut adalah 50, 100, 200, 400, dan 800 ml.

APPENDIKS C

PERHITUNGAN HASIL SPEKTROFOTOMETRI

1. Kurva Panjang gelombang

λ	A
657	0,79
658	0,801
659	0,811
660	0,821
661	0,829
662	0,835
663	0,84
664	0,844
665	0,844
666	0,845
667	0,84
668	0,834
669	0,824
670	0,809



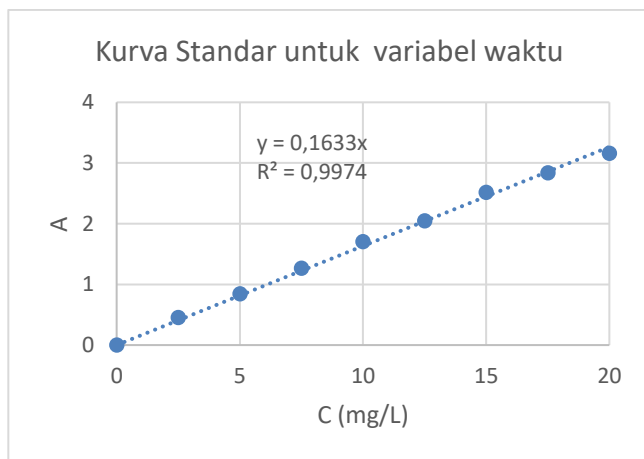
2. Mengukur absorbansi (A) larutan standar, dan menggambar kurva standar hingga didapatkan persamaan:

$$y = k x$$

dimana y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi larutan. Persamaan ini digunakan untuk menghitung konsentrasi akhir dari larutan dengan persamaan:

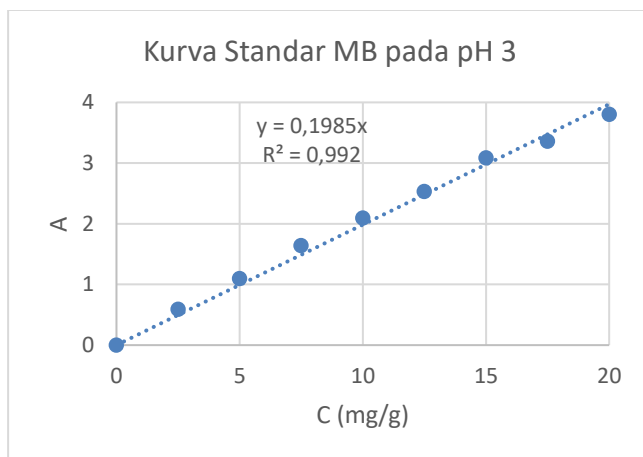
- a. Data absorbansi larutan standar untuk variabel waktu adsorpsi (pH 7, suhu 30°C)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=666$)
0	0
2,5	0,453
5	0,844
7,5	1,269
10	1,703
12,5	2,045
15	2,517
17,5	2,840
20	3,162



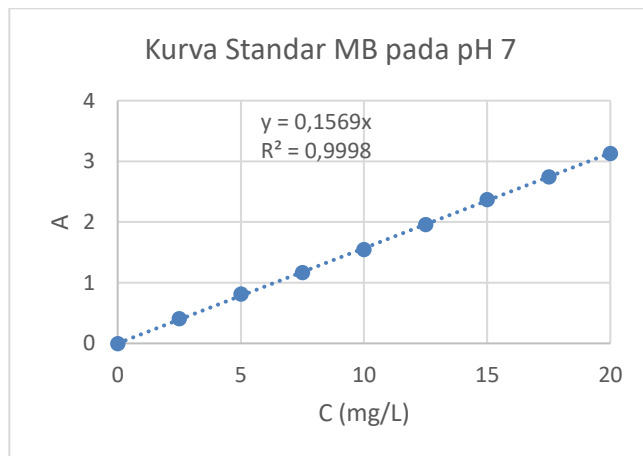
- b. Data absorbansi larutan standar MB pada pH 3 (suhu 30°C)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=666$)
0	0
2,5	0,592
5	1,098
7,5	1,639
10	2,095
12,5	2,534
15	3,083
17,5	3,362
20	3,805



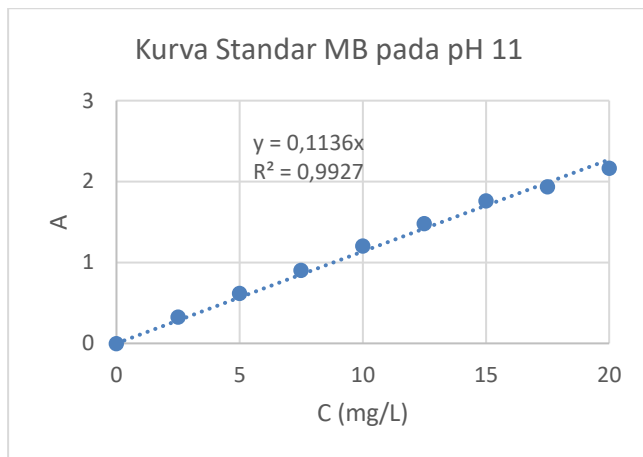
- c. Data absorbansi larutan standar MB pada pH 7 (suhu 30°C)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=666$)
0	0
2,5	0,407
5	0,815
7,5	1,170
10	1,547
12,5	1,960
15	2,370
17,5	2,744
20	3,129



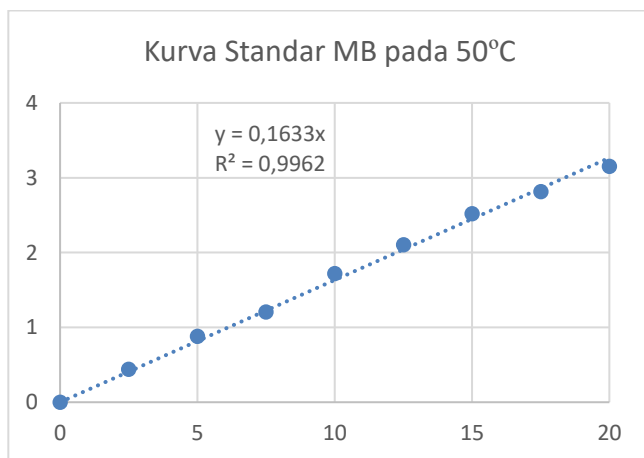
- d. Data absorbansi larutan standar MB pada pH 11 (suhu 30°C)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=591$)
0	0
2,5	0,464
5	0,882
7,5	1,290
10	1,723
12,5	2,116
15	2,516
17,5	2,764
20	3,093



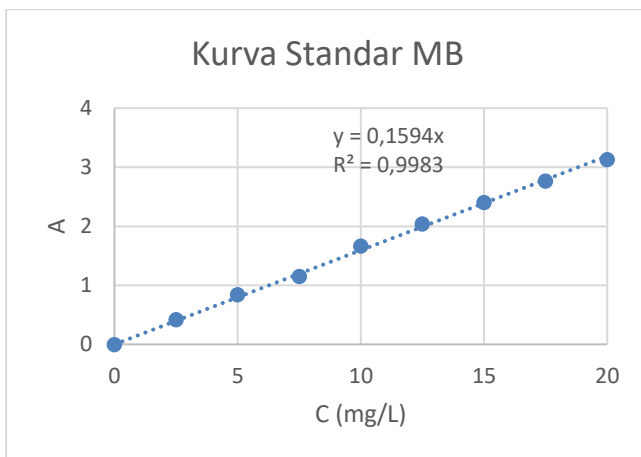
e. Data absorbansi larutan standar MB pada suhu 50°C (pH 7)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=664$)
0	0
2,5	0,464
5	0,882
7,5	1,290
10	1,723
12,5	2,116
15	2,516
17,5	2,764
20	3,093



- f. Data absorbansi larutan standar MB untuk variabel konsentrasi larutan (pH 7, suhu 30°C)

Konsentrasi Larutan (C) (mg/L)	A ($\lambda=666$)
0	0
2,5	0,464
5	0,882
7,5	1,290
10	1,723
12,5	2,116
15	2,516
17,5	2,764
20	3,093



3. Menghitung konsentrasi akhir dari larutan (C), kapasitas adsorpsi (Q), dan % removal (%R) berdasarkan persamaan

$$C = \frac{A}{k}$$

$$Q = \frac{C_0 - C}{G} \times V$$

$$R = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0}$$

Dimana :

A = Adsorbansi

k = Slope pada kurva standar

C = Konsentrasi akhir zat warna dalam larutan (mg/L)

Co = Konsentrasi awal zat warna dalam larutan (mg/L)

G = Berat PLLA/CA (g)

V = Volume larutan (L)

Contoh perhitungan:

Diketahui:

Co = 20 mg/L ; A = 2,926 ; k = 0,1633 ; V = 0,05 L ; G = 0,1 g

$$C = \frac{A}{k} = \frac{2,926}{0,1633} = 17,92$$

$$Q = \frac{C_0 - C}{G} \times V = \frac{20 - 17,92}{0,1} \times 0,05 = 1,04$$

$$\%R = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0} = \frac{(20 - 17,92) \times 100}{20} = 10,41\%$$

a. Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk variabel waktu

$C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1633$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk bead CA/PLLA (100/0) 10%

T (jam)	A	C (mg/L)	Q (mg/g)	% R
0	3,266	20,00	0,00	0,00
4	2,926	17,92	1,04	10,41
8	2,841	17,40	1,30	13,01
12	2,821	17,27	1,36	13,63
16	2,854	17,48	1,26	12,61
20	2,818	17,26	1,37	13,72
24	2,845	17,42	1,29	12,89
28	2,832	17,34	1,33	13,29
32	2,823	17,29	1,36	13,56
36	2,832	17,34	1,33	13,29

Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk bead CA/PLLA (100/0) 10%

T (jam)	A	C (mg/L)	q (mg/g)	% R
0	3,266	20,00	0,00	0,00
4	2,89	17,70	1,15	11,51
8	2,723	16,67	1,66	16,63
12	2,655	16,26	1,87	18,71
16	2,655	16,26	1,87	18,71
20	2,628	16,09	1,95	19,53
24	2,627	16,09	1,96	19,57
28	2,625	16,07	1,96	19,63
32	2,684	16,44	1,78	17,82
36	2,646	16,20	1,90	18,98

Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk bead CA/PLLA (100/0) 10%

T (jam)	A	C (mg/L)	q (mg/g)	% R
0	3,266	20,00	0,00	0,00
4	2,87	17,58	1,21	12,12
8	2,643	16,18	1,91	19,08
12	2,562	15,69	2,16	21,56
16	2,553	15,63	2,18	21,83
20	2,505	15,34	2,33	23,30
24	2,507	15,35	2,32	23,24
28	2,526	15,47	2,27	22,66
32	2,524	15,46	2,27	22,72
36	2,551	15,62	2,19	21,89

Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk bead CA/PLLA (100/0) 10%

T (jam)	A	C (mg/L)	q (mg/g)	% R
0	3,266	20,00	0,00	0,00
4	2,957	18,11	0,95	9,46
8	2,801	17,15	1,42	14,24
12	2,695	16,50	1,75	17,48
16	2,604	15,95	2,03	20,27
20	2,569	15,73	2,13	21,34
24	2,464	15,09	2,46	24,56
28	2,463	15,08	2,46	24,59
32	2,438	14,93	2,54	25,35
36	2,442	14,95	2,52	25,23

b. Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada berbagai pH awal larutan

Data Adsorpsi pada pH 3: $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,992$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada pH 3					
Bead	%PLLA	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA PLLA 10%	0	2,733	17,42	1,29	12,92
	10	2,806	17,88	1,06	10,58
	20	2,628	16,75	1,63	16,25
	30	2,451	15,62	2,19	21,89
CA/PLLA 15 %	0	2,528	16,11	1,94	19,45
	10	2,652	16,90	1,55	15,49
	20	2,513	16,02	1,99	19,92
	30	2,346	14,95	2,52	25,23
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	2,728	17,39	1,31	13,07
	20	2,535	16,16	1,92	19,22
	30	2,346	14,95	2,52	25,24
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	2,313	14,74	2,63	26,29
	20	2,422	15,44	2,28	22,82
	30	2,537	16,17	1,92	19,15
	40	2,345	14,95	2,53	25,27

Data Adsorpsi pada pH 7: $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1569$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada pH 7					
Bead	%PLLA	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA PLLA 10%	0	3,496	17,61	1,19	11,94
	10	3,594	18,11	0,95	9,47
	20	3,544	17,85	1,07	10,73
	30	3,425	17,25	1,37	13,73
CA/PLLA 15 %	0	3,325	16,75	1,62	16,25
	10	3,401	17,13	1,43	14,33
	20	3,461	17,44	1,28	12,82
	30	3,395	17,10	1,45	14,48
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	3,511	17,69	1,16	11,56
	20	3,39	17,08	1,46	14,61
	30	3,346	16,86	1,57	15,72
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	3,416	17,21	1,40	13,95
	20	3,387	17,06	1,47	14,69
	30	3,489	17,58	1,21	12,12
	40	3,486	17,56	1,22	12,19

Data Adsorpsi pada pH 7: $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1136$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada pH 11					
Bead	%PLLA	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA PLLA 10%	0	1,999	17,60	1,20	12,02
	10	2,101	18,49	0,75	7,53
	20	2,092	18,42	0,79	7,92
	30	1,846	16,25	1,88	18,75
CA/PLLA 15 %	0	1,909	16,80	1,60	15,98
	10	2,025	17,83	1,09	10,87
	20	1,978	17,41	1,29	12,94
	30	1,819	16,01	1,99	19,94
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	2,015	17,74	1,13	11,31
	20	1,952	17,18	1,41	14,08
	30	1,758	15,48	2,26	22,62
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) 10%	10	1,844	16,23	1,88	18,84
	20	1,942	17,10	1,45	14,52
	30	1,944	17,11	1,44	14,44
	40	1,897	16,70	1,65	16,51

c. Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada suhu 50 °C

Data Adsorpsi pada suhu 50 °C : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1633$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada suhu 50 °C				
Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,922	17,89	1,05	10,53
CA/PLLA (70/30) 10%	2,714	16,62	1,69	16,90
CA/PLLA (100/0) 15%	2,744	16,80	1,60	15,98
CA/PLLA (70/30) 15%	2,652	16,24	1,88	18,80
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,637	16,15	1,93	19,26
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,54	15,55	2,22	22,23

d. Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk pada berbagai dosis bead

Data Adsorpsi dengan dosis bead 2g/L : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1695$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada dosis bead 2 g/L				
Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	1,733	10,22	0,49	48,88
CA/PLLA (70/30) 10%	1,494	8,81	0,56	55,93
CA/PLLA (100/0) 15%	1,224	7,22	0,64	63,89
CA/PLLA (70/30) 15%	1,026	6,05	0,70	69,73
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	0,796	4,70	0,77	76,52
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	0,804	4,74	0,76	76,28

Data Adsorpsi dengan dosis bead 4g/L : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1695$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,2 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada dosis bead 4 g/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,187	12,90	0,89	35,49
CA/PLLA (70/30) 10%	2,031	11,98	1,00	40,09
CA/PLLA (100/0) 15%	1,829	10,79	1,15	46,05
CA/PLLA (70/30) 15%	1,709	10,08	1,24	49,59
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	1,522	8,98	1,38	55,10
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	1,381	8,15	1,48	59,26

Data Adsorpsi dengan dosis bead 8g/L : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1695$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,4 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada dosis bead 8 g/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,634	15,54	1,12	22,30
CA/PLLA (70/30) 10%	2,355	13,89	1,53	30,53
CA/PLLA (100/0) 15%	2,232	13,17	1,71	34,16
CA/PLLA (70/30) 15%	2,136	12,60	1,85	36,99
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,033	11,99	2,00	40,03
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	1,991	11,75	2,06	41,27

Data Adsorpsi dengan dosis bead 20g/L : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1695$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada dosis bead 20 g/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,844	16,78	1,61	16,11
CA/PLLA (70/30) 10%	2,669	15,75	2,13	21,27
CA/PLLA (100/0) 15%	2,609	15,39	2,30	23,04
CA/PLLA (70/30) 15%	2,525	14,90	2,55	25,52
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,482	14,64	2,68	26,78
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,459	14,51	2,75	27,46

e. Hasil perhitungan C, Q, dan %R untuk pada berbagai konsentrasi larutan

Pada variabel dengan konsentrasi awal larutan diatas 20 mg/L, larutan hasil adsorpsi diencerkan hingga konsentrasi dibawah 20 mg/L sebelum diuji spektrofotometri. Untuk $C_0 = 40 \text{ mg/L}$ diencerkan hingga 2 kali volume awal, dan $C_0 = 80 \text{ mg/L}$ diencerkan hingga 4 kali volume awal.

Perhitungan untuk konsentrasi larutan adalah sebagai berikut

$$C = \frac{A}{k} \times FP$$

Dimana :

A = Adsorbansi

k = Slope pada kurva standar

C = Konsentrasi akhir zat warna dalam larutan (mg/L)

FP = Faktor Pengenceran

Contoh perhitungan

Diketahui : $C_o = 40 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$; $FP = 2$

$$C = \frac{A}{k} \times FP = \frac{2,603}{0,1594} \times 4 = 32,66 \text{ mg/L}$$

Data Adsorpsi : $C_o = 5 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada konsentrasi awal larutan 5mg/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	0,61	3,83	0,59	23,46
CA/PLLA (70/30) 10%	0,597	3,75	0,63	25,09
CA/PLLA (100/0) 15%	0,51	3,20	0,90	36,01
CA/PLLA (70/30) 15%	0,468	2,94	1,03	41,28
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	0,458	2,87	1,06	42,53
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	0,588	3,69	0,66	26,22

Data Adsorpsi : $C_0 = 10 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada konsentrasi awal larutan 10 mg/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	1,305	8,19	0,91	36,26
CA/PLLA (70/30) 10%	1,191	7,47	1,26	50,56
CA/PLLA (100/0) 15%	0,955	5,99	2,00	80,18
CA/PLLA (70/30) 15%	1,037	6,51	1,75	69,89
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	0,902	5,66	2,17	86,83
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	1,118	7,01	1,49	59,72

Data Adsorpsi : $C_0 = 20 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada konsentrasi awal larutan 20 mg/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,733	17,42	1,29	51,68
CA/PLLA (70/30) 10%	2,528	16,11	1,94	77,78
CA/PLLA (100/0) 15%	2,451	15,62	2,19	87,56
CA/PLLA (70/30) 15%	2,346	14,95	2,52	100,92
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,34	14,68	2,66	106,40
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,349	14,74	2,63	105,27

Data Adsorpsi : $C_0 = 40 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$; $FP = 2$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada konsentrasi awal larutan 40 mg/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,603	32,66	3,67	146,80
CA/PLLA (70/30) 10%	2,535	31,81	4,10	163,86
CA/PLLA (100/0) 15%	2,503	31,41	4,30	171,89
CA/PLLA (70/30) 15%	2,474	31,04	4,48	179,17
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,429	30,48	4,76	190,46
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,251	28,24	5,88	235,13

Data Adsorpsi : $C_0 = 80 \text{ mg/L}$; $k = 0,1594$; $V = 0,05 \text{ L}$; $G = 0,1 \text{ g}$; $FP = 4$

Hasil perhitungan C, Q, dan %R pada konsentrasi awal larutan 80 mg/L

Bead	A	C (mg/L)	Qe (mg/g)	%R
CA/PLLA (100/0) 10%	2,803	70,34	4,83	193,22
CA/PLLA (70/30) 10%	2,725	68,38	5,81	232,37
CA/PLLA (100/0) 15%	2,703	67,83	6,09	243,41
CA/PLLA (70/30) 15%	2,629	65,97	7,01	280,55
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (70/30) 10%	2,674	67,10	6,45	257,97
CA/(PLLA/PLLA-g-MA) (90/10) 15%	2,607	65,42	7,29	291,59

BIODATA PENULIS



Ardha Fanani Aslam,

Penulis dilahirkan di Kediri, 8 Desember 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Perwanida Kediri, SDN Banjaran IV Kota Kediri, SMPN I Kota Kediri, SMAN 2 Kota Kediri dan D3 Teknik Kimia FT-Undip. Setelah lulus dari D3 Teknik Kimia FTI-ITS pada september 2015, Penulis bekerja di WHW alumina refinery sebagai *coal gassification inspector*. Pada pertengahan 2016 Seleksi Ujian Masuk Lintas Jalur S1

Genap Teknik Kimia ITS dan diterima di Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 201 dan terdaftar dengan NRP. 02211645000020

Pada tahun terakhir, penulis masuk di Laboratorium Teknologi Material untuk menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dan Skripsi. Penulis menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik yang berjudul “ Pabrik Pigmen Merah *Iron Oxide* Dari Bijih Besi Hematit” serta Skripsi yang berjudul “Sintesis dan Uji karakteristik Adsorpsi *Cellulose Acetate/Poly(L-Lactic Acid) Beads* untuk Pemisahan Zat Warna”

Alamat email: ardhaaslam@muslim.com



Faris Bahauddin,

Penulis dilahirkan di Gresik, 13 Agustus 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal di MI Nurul Ulum Betoyoguci Manyar Gresik, MTs Terpadu Raudlotul Quran Lamongan, dan MAN Insan Cendekia Serpong. Pada tahun 2013 Penulis melanjutkan pendidikan selanjutnya di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS dan terdaftar dengan NRP 2313100139. Pada tahun terakhir, penulis mendalami studi di Laboratorium Teknologi Material

untuk menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik dan Skripsi. Penulis menyelesaikan tugas Pra Desain Pabrik yang berjudul “Pabrik Pigmen Merah *Iron Oxide* Dari Bijih Besi Hematit” serta Skripsi yang berjudul “Sintesis dan Uji karakteristik Adsorpsi *Cellulose Acetate/Poly(L-Lactic Acid) Beads* untuk Pemisahan Zat Warna”

Alamat email: farisbaha13@gmail.com